

Rec'd PCT/PTO 5 - JAN 2006

10/522 426

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
12. Februar 2004 (12.02.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/012759 A2

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: A61K 38/18,  
A61P 9/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/008229

(22) Internationales Anmeldedatum:  
25. Juli 2003 (25.07.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 34 192.3 26. Juli 2002 (26.07.2002) DE

(71) Anmelder und

(72) Erfinder: **BAHLMANN, Ferdinand, Hermann**  
[DE/DE]; Tieckstrasse 24, 30625 Hannover (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HALLER, Hermann**  
[DE/DE]; An der Trift 8D, 30559 Hannover (DE).

(74) Anwälte: **SCHRELL, Andreas** usw.; Leitzstrasse 45,  
70469 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

BEST AVAILABLE COPY

(54) Title: USE OF ERYTHROPOIETIN

(54) Bezeichnung: VERWENDUNG VON ERYTHROPOETIN

(57) Abstract: The invention relates to the use of erythropoietin for stimulation of the physiological mobilisation, proliferation and differentiation of endothelial precursor cells, for stimulation of vasculogenesis, for the treatment of diseases related to a dysfunction of endothelial precursor cells and for the production of pharmaceutical compositions for the treatment of such diseases and pharmaceutical compositions comprising erythropoietin and other agents suitable for stimulation of endothelial precursor cells.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft die Verwendung von Erythropoietin zur Stimulierung der physiologischen Mobilisierung, Proliferation und Differenzierung endothelialer Vorläuferzellen, zur Stimulierung der Vaskulogenese, zur Therapie von Krankheiten, die mit einer Dysfunktion endothelialer Vorläuferzellen im Zusammenhang stehen, und zur Herstellung pharmazeutischer Zusammensetzungen zur Behandlung derartiger Krankheiten sowie pharmazeutische Zusammensetzungen, die Erythropoietin und andere geeignete Wirkstoffe zur Stimulation endothelialer Vorläuferzellen umfassen.

WO 2004/012759 A2

## Verwendung von Erythropoietin

### Beschreibung

5 Die vorliegende Erfindung betrifft die Verwendung von Erythropoietin zur Stimulierung der physiologischen Mobilisierung, Proliferation und Differenzierung endothelialer Vorläuferzellen, zur Stimulierung der Vaskulogenese, zur Therapie von Krankheiten,  
10 ten, die mit einer Dysfunktion endothelialer Vorläuferzellen im Zusammenhang stehen, und zur Herstellung pharmazeutischer Zusammensetzungen zur Behandlung solcher Krankheiten sowie pharmazeutische Zusammensetzungen, die Erythropoietin und andere  
15 geeignete Wirkstoffe zur Stimulation endothelialer Vorläuferzellen umfassen.

Das Gefäßendothel ist eine Schicht von Zellen, die die Blutgefäße auskleidet. Das Endothel trennt das Blut von anderen Gefäßschichten, wobei das Endothel  
20 nicht allein eine passive Barriere darstellt, sondern aktiv in die Regulation des Gefäßtonus eingreift. Dementsprechend wird auch von einer Endothel-abhängigen Vasodilatation gesprochen. Auf Grund seiner Lage ist das Endothel permanent dem  
25 hämodynamischen Stress und dem metabolischen Stress ausgesetzt. Bei pathogenen Zuständen, beispielsweise erhöhtem Blutdruck, erhöhten LDL-Werten, eingeschränkter Nierenfunktion oder erhöhtem Blutzucker, kommt es daher häufig zu funktionellen Defekten des  
30 Endothels, denen dann morphologisch fassbare Schäden, wie die Bildung atherosklerotischer Plaques folgen können. Ein sehr frühes Zeichen einer geän-

- 2 -

dernten beziehungsweise reduzierten endothelialen Funktion beziehungsweise endothelialen Dysfunktion ist eine Verminderung der Endothel-abhängigen Vasodilatation.

- 5 Bei koronarer Herzkrankheit (KHK), aber auch bei vorhandenen Risikofaktoren ohne KHK, beispielsweise Hypertonie, Hyperlipoproteinämie oder Diabetes, äußern sich Endothel-Funktionsdefekte in einer verminderten Produktion von NO (=EDRF) und erhöhter
- 10 Endothelin-Produktion. Hohe Plasmaspiegel von Endothelin führen zu abnormalem Zusammenwachsen von Zellen, Entzündungen, Gefäßwucherungen und starken Gefäßverengungen. Endothel-Funktionsstörungen sind zudem durch eine verstärkte Produktion von Adhäsionsmolekülen wie ICAM-1 und VCAM-1 gekennzeichnet, wodurch Thrombozyten und Monozyten in erhöhtem Maße am Endothel haften. Dadurch bedingt kommt es zu einer Erhöhung des Gefäßtonus. Somit bildet sich bei verschiedenen Systemen ein Ungleichgewicht heraus, wobei Vasokonstriktion, Adhäsion, Aggregation, Koagulation, Atherosklerose und Atherothrombose begünstigt werden. Selbst mentaler Stress führt zu einer messbaren Endothel-Dysfunktion, die bis zu 4 Stunden anhalten kann.
- 25 Endothelzellen sind auch an der Bildung neuer Blutgefäße beteiligt. Die Bildung von Blutgefäßen ist bei einer Vielzahl von Vorgängen, wie zum Beispiel der Embryogenese, dem weiblichen Reproduktionszyklus, der Wundheilung, dem Tumorwachstum und der Neovaskularisierung ischämischer Bereiche, von Bedeutung. Ursprünglich wurde die postnatale Blutgefäßbildung, also die Blutgefäßbildung nach der Geburt,
- 30

- 3 -

hauptsächlich auf angiogenetische Prozesse zurückgeführt. Unter Angiogenese wird die Ausbildung neuer Blutgefäße durch das Aussprossen von Kapillaren aus einem bereits bestehenden Gefäßsystem verstanden. Bei der Angiogenese wird zunächst die die Blutgefäße umgebende Basalmembran mittels proteolytischer Enzyme abgebaut und die extrazelluläre Matrix im perivaskulären Raum fragmentiert. Die dabei freigesetzten angiogenen Stimuli bewirken, dass bereits vorhandene ausdifferenzierte Endothelzellen in Richtung des chemotaktischen Reizes migrieren, wobei sie gleichzeitig proliferieren und umgebaut werden. Durch die Aneinanderlagerung von Endothelzellen werden dann neue Gefäßschleifen mit einem kapillarförmigen Lumen ausgebildet. Danach setzt die Synthese einer neuen Basalmembran ein.

Neuere Untersuchungen zeigen jedoch, dass die Bildung neuer Blutgefäße im adulten Organismus nicht nur auf Angiogenese beruht, sondern auch auf vaskulogenetischen Mechanismen. Unter Vaskulogenese wird die Gefäßneubildung aus sich in situ differenzierenden endothelialen Vorläuferzellen verstanden. Das Dogma, dass die Vaskulogenese auf die Embryogenese beschränkt ist, wurde durch den Nachweis endothelialer Vorläuferzellen (EPC) im peripheren Blut von gesunden Menschen und Tieren widerlegt. Unter Verwendung von Tiermodellen konnte belegt werden, dass die aus dem Knochenmark stammenden endothelialen Vorläuferzellen aktiv an der Neovaskularisation beteiligt sind. Auch wurde gezeigt, dass sich in ischämischen Regionen eine spezifische CD34-positive Untergruppe von Leukozyten festsetzt, die Endothel-spezifische Antigene exprimiert. Darüber

- 4 -

hinaus lassen sich aus CD133<sup>+</sup>- und CD34<sup>+</sup>-Zellen in vitro endotheliale Vorläuferzellen (EPC) gewinnen, die einen signifikanten Beitrag zur Blutgefäßbildung im adulten Organismus leisten (Asahara et al., Science, 275 (1997), 964-967; Crosby et al., Circ. Res., 87 (2000), 728-730; Gehling et al., Blood, 95 (2000), 3106-3112). Ferner wurde gezeigt, dass die Injektion von isolierten CD34<sup>+</sup>-Zellen oder kultivierten endothelialen Vorläuferzellen die Wiederherstellung des Blutflusses bei diabetischen Mäusen beschleunigt (Schatteman et al., J. Clin. Invest., 106 (2000), 571-578) und die Neovaskularisierung in vivo verbessert (Asahara et al., Circ. Res., 85 (1999), 221-228; Crosby et al., Circ. Res., 87 (2000), 728-730; Murohara et al., J. Clin. Invest., 105 (2000), 1527-1536). Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass eine durch CD34<sup>+</sup>-Zellen induzierte Neovaskularisierung die Herzfunktion verbessert (Kocher et al., Nat. Med., 7 (2001), 430-436).

Die der Mobilisierung und Differenzierung endothelialer Vorläuferzellen zugrunde liegenden Mechanismen sind jedoch noch nicht vollständig geklärt. Molekular- und zellbiologische Untersuchungen deuten darauf hin, dass verschiedene Cytokine und angiogene Wachstumsfaktoren stimulierend auf die Mobilisierung endothelialer Vorläuferzellen im Knochenmark wirken. So ist bekannt, dass proangiogene Faktoren wie VEGF und GM-CSF die Anzahl endothelialer Vorläuferzellen erhöhen können (Asahara et al., EMBO J., 18 (1999), 3964-3972; Takahashi et al., Nat. Med., 5 (1999), 434-438). Bei VEGF (Vascular Endothelial Growth Factor) handelt es sich um ein in verschiedenen Isoformen vorkommendes Protein,

- 5 -

das an die beiden Tyrosinkinase-Rezeptoren VEGF-R1 (flt-1) und VEGF-R2 (flk-1) bindet, die beispielsweise auf der Oberfläche wachsender Endothelzellen vorkommen (Wernert et al., Angew. Chemie, 21  
5 (1999), 3432-3435). Die Aktivierung der VEGF-Rezeptoren führt über den Ras-Raf-MAP-Kinase-Weg zur Expression von Proteinasen und spezifischen Integrinen auf der Oberfläche von Endothelzellen beziehungsweise endothelialen Vorläuferzellen und  
10 schließlich zur Initiierung der Proliferation und Migration dieser Zellen in Richtung des angiogenen Stimulus. Bei GM-CSF (Granulozyten-Makrophagen-Koloniestimulierender Faktor) handelt es sich um ein Cytokin, das bislang vor allem für die Stimula-  
15 tion weißer Blutkörperchen einschließlich Neutrophiler, Makrophagen und Eosinophiler bekannt war. Von PIGF (Plazenta-Wachstumsfaktor) ist bekannt, dass er die Mobilisierung von Endothel-Vorläuferzellen stimuliert, nicht jedoch deren Pro-  
20 liferation. Aus Untersuchungen von Llevadot et al. (J. Clin. Invest., 108 (2001), 399-405) geht hervor, dass HMG-CoA-Reduktase-Inhibitoren, insbesondere Statine, die als Lipid-senkende Medikamente eingesetzt werden und die Morbidität und Mortalität  
25 einer Koronarkrankheit reduzieren, endotheliale Vorläuferzellen mobilisieren können. Dimmeler et al. (J. Clin. Invest., 108 (2001), 391-397) konnten ferner zeigen, dass Statine wie Atorvastatin und Simvastatin die Differenzierung endothelialer Vor-  
30 läuferzellen in mononukleären Zellen und CD34<sup>+</sup>-Stammzellen, die aus peripherem Blut isoliert wurden, in vitro und in vivo signifikant verbessern. So führte die Behandlung von Mäusen mit Statinen zu einer erhöhten Anzahl differenzierter endothelialer

- 6 -

Vorläuferzellen, wobei Statine eine gleich starke Wirkung wie VEGF zeigten.

Die Stimulierung der Mobilisierung und/oder Differenzierung endothelialer Vorläuferzellen stellt eine wichtige neue therapeutische Strategie zur Erhöhung der postnatalen Neovaskularisation, insbesondere der Vaskulogenese, und zur Behandlung von Krankheiten, die im Zusammenhang mit einer Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen und/oder Endothelzellen stehen, dar.

Der vorliegenden Erfindung liegt das technische Problem zugrunde, Mittel und Verfahren zur verbesserten Stimulation endothelialer Vorläuferzellen und zur Therapie von Erkrankungen bereitzustellen, die insbesondere im Zusammenhang mit einer Dysfunktion endothelialer Vorläuferzellen stehen.

Die vorliegende Erfindung löst dieses technische Problem durch die Lehre, Erythropoietin und/oder dessen Derivate zur Stimulation der physiologischen Mobilisierung endothelialer Vorläuferzellen, der Proliferation endothelialer Vorläuferzellen, der Differenzierung endothelialer Vorläuferzellen zu Endothelzellen und/oder der Migration endothelialer Vorläuferzellen in Richtung eines angiogenen oder vaskulogenen Stimulus in einem menschlichen oder tierischen Körper zu verwenden. Die vorliegende Erfindung löst dieses technische Problem auch durch die Lehre, Erythropoietin und/oder dessen Derivate zur Therapie von Krankheiten oder krankhafte Zuständen, die mit einer Dysfunktion von endothelia-

- 7 -

len Vorläuferzellen und/oder Endothelzellen im Zusammenhang stehen, zu verwenden.

Erfindungsgemäß wurde überraschenderweise festgestellt, dass eine Behandlung mit Erythropoietin zur  
5 physiologischen Mobilisierung endothelialer Vorläuferzellen führt, wobei die Anzahl zirkulierender endothelialer Vorläuferzellen erhöht und deren Differenzierung induziert wird, insbesondere in vergleichsweise niedrigen EPO-Dosen. Darüber hinaus  
10 werden unter bestimmten pathologischen Zuständen auftretende funktionelle Defizite der endothelialen Vorläuferzellen ausgeglichen. Erfindungsgemäß konnte gezeigt werden, dass bei Patienten mit chronischer Nierenerkrankung im Endstadium die Anzahl  
15 zirkulierender Stammzellen genauso hoch ist wie bei gesunden Probanden, diese jedoch bei diesen Patienten die Fähigkeit zur Differenzierung zu Endothelzellen über endotheliale Vorläuferzellen verloren haben. So ist bei Patienten mit chronischer Nierenerkrankung die Anzahl von Zellen, die adhäsionsfähig sind und einen endothelialen Zell-Phänotyp zeigen, gegenüber gesunden Probanden deutlich vermindert. Erfindungsgemäß wurde nun festgestellt, dass  
20 nach Behandlung dieser Patienten mit Erythropoietin die Anzahl zirkulierender Stammzellen signifikant um mehr als 50% ansteigt. Dabei erhöht sich insbesondere die Anzahl von Zellen, die einen endothelialen Phänotyp entwickeln, dramatisch. Wie mittels eines funktionellen Zellkulturtestes nachgewiesen,  
25 erhöht sich durch die Erythropoietin-Behandlung die bei den Patienten mit chronischer Nierenerkrankung beeinträchtigte Fähigkeit der endothelialen Vorläuferzellen zur Adhäsion um das Dreifache. Die

- Fähigkeit von sich differenzierenden endothelialen Vorläuferzellen beziehungsweise von Endothelzellen zur Adhäsion ist eine der Grundvoraussetzungen zur Ausbildung neuer Gewebe und/oder Gefäße. Erythropoietin kann auf diese Weise die Neovaskularisierung, insbesondere die Vaskulogenese, in Geweben oder Organen, in denen entsprechende vaskulogene oder angiogene Stimuli freigesetzt werden, induzieren.
- 10 Erfindungsgemäß kann Erythropoietin (im Folgenden EPO genannt) zur Stimulierung der physiologischen Mobilisierung endothelialer Vorläuferzellen, der Proliferation endothelialer Vorläuferzellen, der Differenzierung der endothelialen Vorläuferzellen
- 15 zu Endothelzellen und/oder zur Migration endothelialer Vorläuferzellen in Richtung eines vaskulogenen oder angiogenen Stimulus in einem menschlichen oder tierischen Körper, insbesondere einem adulten Organismus, verwendet werden. Erfindungsgemäß kann Erythropoietin daher in vorteilhafter Weise zur Stimulation der Gefäßneubildung durch Vaskulogenese in Geweben oder Organen eingesetzt werden, in denen pathologische Gefäßveränderungen vorliegen. Aufgrund der Stimulation endothelialer Vorläuferzellen
- 25 durch Erythropoietin kann darüber hinaus auch die Bildung von Endothelgewebe induziert werden. Erfindungsgemäß kann Erythropoietin daher auch zur Behandlung von Krankheiten des menschlichen oder tierischen Körpers eingesetzt werden, die im Zusammenhang mit einer Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen und/oder Endothelzellen im Zusammenhang stehen.
- 30

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter „Erythropoietin“ beziehungsweise „EPO“ ein Stoff verstanden, der das Wachstum, die Differenzierung und die Reifung von Stammzellen über Erythroblasten zu Erythrocyten steuert. Erythropoietin ist ein Glycoprotein, welches 166 Aminosäuren, drei Glycosylierungsstellen und ein Molekulargewicht von etwa 34.000 Da aufweist. Im Rahmen einer EPO-induzierten Differenzierung von Erythrocyten-Vorläuferzellen wird die Globinsynthese induziert und die Synthese des Häm-Komplexes sowie die Anzahl der Ferritin-Rezeptoren gesteigert. Dadurch kann die Zelle mehr Eisen aufnehmen und funktionelles Hämoglobin synthetisieren. In den reifen Erythrocyten bindet Hämoglobin den Sauerstoff. Somit nehmen die Erythrocyten beziehungsweise das in ihnen enthaltene Hämoglobin eine Schlüsselrolle für die Sauerstoffversorgung des Organismus ein. Ausgelöst werden diese Vorgänge durch die Wechselwirkung von EPO mit einem entsprechenden Rezeptor auf der Zelloberfläche der Erythrocyten-Vorläuferzellen (Graber und Krantz, Ann. Rev. Med. 29 (1978), 51-56).

Erythropoietin wird hauptsächlich in der Niere gebildet, in geringeren Anteilen jedoch auch in der Leber und im Hirn. Erythropoietin findet sich auch in geringen Mengen im Serum und wird unter physiologischen Bedingungen zumindest teilweise im Urin ausgeschieden. Patienten mit Niereninsuffizienz können nur unzureichend Erythropoietin (im Folgenden EPO genannt) bilden und leiden demzufolge an einer Anämie. Bekannt ist es, die Erythropoietin-Unterversorgung durch Verabreichung von Erythropoietin zu kompensieren. Weitere klinische Anwendungen

- 10 -

von Erythropoietin liegen in der Applikation von Erythropoietin bei iatrogenen Anämie nach Chemotherapie oder Strahlentherapie maligner Erkrankungen oder Virusinfektionen (EP 0 456 153 B1). Aus der US 4,732,889 ist es bekannt, Erythropoietin enthaltende Zusammensetzungen zur Behandlung von mit rheumatoider Arthritis assoziierter Anämie einzusetzen. Aus der WO 88/03808 ist die Behandlung von Hämochromatosis mittels EPO-haltiger Zusammensetzungen bekannt.

Der hier verwendete Begriff „Erythropoietin“ umfasst EPO jeglicher Herkunft, insbesondere menschliches oder tierisches EPO. Der hier verwendete Begriff erfasst nicht nur die natürlich vorkommenden, das heißt Wildtyp-Formen von EPO, sondern auch seine Derivate, Analoga, Modifikationen, Muteine, Mutanten oder Sonstiges, solange sie die biologischen Wirkungen von Wildtyp-Erythropoietin zeigen.

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung werden unter "Derivaten" funktionelle Äquivalente oder Abkömmlinge von Erythropoietin verstanden, die unter Beibehaltung der Erythropoietin-Grundstruktur durch Substitution von einem oder mehreren Atomen oder Molekülgruppen beziehungsweise -resten, insbesondere durch Substitution von Zuckerketten wie Ethylenglycol, erhalten werden und/oder deren Aminosäuresequenzen sich von der des natürlicherweise vorkommenden menschlichen oder tierischen Erythropoietin-Proteins an mindestens einer Position unterscheiden, die aber im wesentlichen einen hohen Grad an Homologie auf der Aminosäureebene und vergleichbare biologische Aktivität aufweisen. Deriva-

- 11 -

te des Erythropoietins, wie sie beispielsweise in der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden können, sind unter anderem bekannt aus der WO 94/25055, der EP 0 148 605 B1 oder der WO 95/05465.

5 "Homologie" bedeutet insbesondere eine Sequenzidentität von mindestens 80 %, vorzugsweise mindestens 85 % und besonders bevorzugt mindestens mehr als 90 %, 95 %, 97 % und 99 %. Der dem Fachmann bekannte Ausdruck der "Homologie" bezeichnet somit den Grad  
10 der Verwandtschaft zwischen zwei oder mehreren Polypeptid-Molekülen, der durch die Übereinstimmung zwischen den Sequenzen bestimmt wird. Dabei kann eine Übereinstimmung sowohl eine identische Übereinstimmung als auch ein konservativer Aminosäure-  
15 austausch bedeuten.

Erfindungsgemäß umfasst der Begriff "Derivat" auch Fusionsproteine, bei denen am N-terminalen Teil beziehungsweise am C-terminalen Teil funktionelle Domänen eines anderen Proteins vorhanden sind. In einer Ausführungsform der Erfindung kann es sich bei  
20 diesem anderen Protein beispielsweise um GM-CSF, VEGF, PIGF, ein Statin oder einen anderen Faktor handeln, der eine stimulierende Wirkung auf endotheliale Vorläuferzellen aufweist. In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann es sich bei  
25 dem anderen Protein auch um einen Faktor handeln, der stimulierende Wirkung auf ausdifferenzierte Endothelzellen hat, beispielsweise um Angiogenin oder bFGF (basic fibroblast growth factor). Von bFGF ist  
30 bekannt, dass dieser Wachstumsfaktor eine starke mitogene und chemotaktische Aktivität auf Endothelzellen ausübt.

Die Unterschiede zwischen einem Erythropoietin-Derivat und nativem Erythropoietin können beispielsweise durch Mutationen, wie zum Beispiel Deletionen, Substitutionen, Insertionen, Anlagerungen, Basenaustausche und/oder Rekombinationen der die Erythropoietin-Aminosäuresequenzen codierenden Nucleotidsequenzen entstanden sein. Selbstverständlich kann es sich dabei auch um natürlicherweise auftretende Sequenzvariationen handeln, beispielsweise um Sequenzen aus einem anderen Organismus oder um Sequenzen, die auf natürliche Weise mutiert wurden, oder Mutationen, die mit Hilfe üblicher, auf dem Fachgebiet bekannter Mittel, beispielsweise chemische Agenzien und/oder physikalische Agenzien, gezielt in die Erythropoietin codierenden Nucleinsäuresequenzen eingeführt wurden. Im Zusammenhang mit der Erfindung umfasst der Begriff „Derivat“ daher auch mutierte Erythropoietin-Moleküle, also Erythropoietin-Muteine.

Erfindungsgemäß können auch Peptid- oder Protein-Analoga von Erythropoietin eingesetzt werden. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung umfasst der Begriff „Analoga“ Verbindungen, die keine mit der Erythropoietin-Aminosäuresequenz identische Aminosäuresequenz aufweisen, deren dreidimensionale Struktur jedoch der von Erythropoietin stark ähnelt und die daher eine vergleichbare biologische Aktivität aufweisen. Bei Erythropoietin-Analoga kann es sich beispielsweise um Verbindungen handeln, die die für die Bindung von Erythropoietin an dessen Rezeptoren verantwortlichen Aminosäurereste in geeigneter Konformation enthalten und die daher die essentiellen Oberflächeneigenschaften des Erythro-

poietin-Bindungsbereiches nachahmen können. Derartige Verbindungen sind beispielsweise in Wrighton et al., Science, 273 (1996), 458, beschrieben.

Das erfindungsgemäß eingesetzte EPO kann auf verschiedene Weise hergestellt werden, beispielsweise durch Isolierung aus menschlichem Urin oder aus dem Urin oder Plasma (einschließlich Serum) von an aplastischer Anämie leidenden Patienten (Miyake et al., J.B.C. 252 (1977), 5558). Menschliches EPO kann beispielsweise auch aus Gewebekulturen von menschlichen Nierenkrebszellen (JA-OS 55790/1979), aus menschlichen Lymphoblastenzellen, die die Fähigkeit zur Bildung von menschlichem EPO aufweisen (JA-OS 40411/1982) und aus einer durch Zellfusion einer menschlichen Zelllinien erhaltenen Hybridomakultur gewonnen werden. EPO kann auch durch gentechnologische Verfahren hergestellt werden, indem man mittels geeigneter DNA oder RNA, die für die entsprechende Aminosäuresequenz des EPO codiert, gentechnisch das erwünschte Protein herstellt, zum Beispiel in einem Bakterium, einer Hefe, einer Pflanzen- oder Tierzelllinie. Derartige Verfahren sind beispielsweise in der EP 0 148 605 B2 oder der EP 0 205 564 B2 sowie der EP 0 411 678 B1 beschrieben.

Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere die Verwendung von Erythropoietin (im Folgenden EPO genannt) und/oder Derivaten davon zur Stimulierung der physiologischen Mobilisierung endothelialer Vorläuferzellen, der Proliferation endothelialer Vorläuferzellen, der Differenzierung der endothelialen Vorläuferzellen zu Endothelzellen und/oder zur

Migration endothelialer Vorläuferzellen in Richtung eines vaskulogenen oder angiogenen Stimulus in einem menschlichen oder tierischen Körper, insbesondere einem adulten Organismus.

- 5 Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung werden unter „endothelialen Vorläuferzellen“ (endotheliale Progenitorzellen; EPC) im Blutkreislauf zirkulierende Zellen verstanden, die die Fähigkeit zur Differenzierung zu Endothelzellen besitzen. Bei den  
10 während der Embryonalentwicklung vorkommenden endothelialen Vorläuferzellen handelt es sich um Angioblasten. Bei den im adulten Organismus vorkommenden endothelialen Vorläuferzellen handelt es sich um Angioblasten-ähnliche Zellen, die aus mononucleären Zellen, insbesondere  $CD34^-CD14^+$ -Monozyten, und/oder  $CD34^+$ -Stammzellen, die aus peripherem Blut isoliert wurden, gewonnen werden können.  
15

- Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter „Mobilisierung“ oder „physiologischer Mobilisierung“ der Prozess des Aktivierens von Stammzellen und/oder Progenitorzellen aus dem Knochenmark durch Wachstumsfaktoren verstanden, wobei die Stammzellen beziehungsweise Progenitorzellen in den Blutkreislauf, insbesondere ins periphere Blut, gelangen.  
20  
25

- Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter „Proliferation“ die Fähigkeit von Zellen zur Vergrößerung und zur anschließenden Teilung in zwei oder mehr Tochterzellen verstanden. Die EPO-vermittelte Stimulierung endothelialer Vorläuferzellen betrifft somit insbesondere die Anzahl und  
30

- 15 -

damit das Teilungsverhalten endothelialer Vorläuferzellen.

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter „Differenzierung“ endothelialer Vorläuferzellen die Entwicklung von aus dem Knochenmark stammenden mononukleären Zellen über endotheliale Vorläuferzellen zu Endothelzellen verstanden. Unter „Endothelzellen“ werden die Zellen verstanden, die das Endothel, das heißt die einschichtige zellige Auskleidung von Gefäßen und serösen Höhlen, bilden. Endothelzellen sind dadurch charakterisiert, dass sie gefäßaktive Substanzen, beispielsweise gefäßweiternde Substanzen wie EDRF (endothelial derived relaxing factor) oder konstringierenden Substanzen wie Endothelin, Faktoren zur Hemmung oder Aktivierung der Blutgerinnung und Faktoren zur Regulation der Gefäßpermeabilität freisetzen. Endothelzellen synthetisieren auch Komponenten des subendothelialen Bindegewebes, insbesondere Collagene vom Typ IV und V, Zellhaftproteine wie Laminin, Fibronectin und Thrombospondin, Wachstumsfaktoren, beispielsweise für glatte Muskelzellen, und Faktoren zur Gefäßneubildung.

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter „Migration“ der endothelialen Vorläuferzellen verstanden, dass die im Blutkreislauf befindlichen endothelialen Vorläuferzellen in Richtung eines vaskulogenen oder angiogenen Stimulus wandern und sich im Bereich des vaskulogenen oder angiogenen Stimulus konzentrieren. Unter einem „vaskulogenen Stimulus“ wird ein chemischer Reiz in einem Gewebe oder Blutgefäß eines menschlichen oder tierischen

Körpers verstanden, der spezifisch auf endotheliale Vorläuferzellen wirkt und deren Wanderung zu der Stelle des Körpers bewirkt, von der der chemische Reiz ausgeht. Durch den vaskulogenen Stimulus wird auf diese Weise der Prozess der Vaskulogenese induziert. Unter einem „angiogenen Stimulus“ wird ein chemischer Reiz in einem Gewebe oder Blutgefäß eines menschlichen oder tierischen Körpers verstanden, der spezifisch auf ausdifferenzierte Endothelzellen wirkt und deren Migration zu der Stelle des Körpers bewirkt, von der der chemische Reiz ausgeht. Der angiogene Stimulus bewirkt auf diese Weise eine Induzierung von Angiogenese.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist die Verwendung von Erythropoietin und/oder Derivaten davon zur Erhöhung der Adhäsionsfähigkeit sich differenzierender endothelialer Vorläuferzellen vorgesehen. Erfindungsgemäß wird Erythropoietin insbesondere verwendet, um die Fähigkeit endothelialer Vorläuferzellen zur Adhäsion, das heißt zur Zell-Zell-Adhäsion zu verbessern. Die Adhäsion von sich differenzierenden endothelialen Vorläuferzellen beziehungsweise ausdifferenzierten Endothelzellen ist eine der Grundvoraussetzungen zur Bildung neuer Gefäße oder eines neuen Endothelgewebes. Die Zelladhäsion wird durch Proteinmoleküle vermittelt.

Die vorliegende Erfindung betrifft auch die Verwendung von Erythropoietin zur Stimulation der Gefäßneubildung, insbesondere die Stimulation von Vaskulogenese. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter „Vaskulogenese“ die Gefäßneubildung aus sich in situ differenzierenden endothelia-

- 17 -

len Vorläuferzellen verstanden. Erfindungsgemäß wird durch den Einsatz von Erythropoietin also erreicht, dass sich endotheliale Vorläuferzellen in verstärktem Maße an einer Gefäßneubildung beziehungsweise an einer lokalen Gefäßneubildung zur Wiederstellung geschädigter Gefäßbereiche beteiligen. Erfindungsgemäß ist also vorgesehen, dass die Verwendung von Erythropoietin und/oder dessen Derivaten die Bildung neuer Blutgefäße und/oder den Ersatz geschädigter Gefäßbereiche durch lokale Blutgefäßneubildung fördert.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist die Verwendung von Erythropoietin und/oder Derivaten davon zur Stimulation endothelialer Vorläuferzellen zur Bildung von Endothelgewebe vorgesehen.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Verwendung von Erythropoietin und/oder Derivaten davon zur Therapie von Krankheitszuständen oder Krankheiten des menschlichen oder tierischen Körpers, die im Zusammenhang mit einer Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen stehen, oder von Folgerkrankungen davon vorgesehen.

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung werden unter „Krankheiten“, „Krankheitszuständen“ oder „Erkrankungen“ Störungen der Lebensvorgänge in Organen oder im gesamten Organismus mit der Folge von subjektiv empfundenen beziehungsweise objektiv feststellbaren körperlichen, seelischen beziehungsweise geistigen Veränderungen verstanden. Erfindungsgemäß handelt es sich insbesondere um Krankheiten, die mit einer Dysfunktion von endothelialen

Vorläuferzellen im Zusammenhang stehen, das heißt Krankheiten, die entweder die Folge einer derartigen Dysfunktion dieser Zellen sind oder die durch diese Zellen vermittelt werden. Unter „Folgerkrankungen“ werden Sekundärkrankheiten verstanden, das heißt eine zu einem primären Krankheitsbild hinzutretende zweite Erkrankung.

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter einer „Dysfunktion“ von endothelialen Vorläuferzellen eine Störung wesentlicher Zellfunktionen wie Stoffwechselleistungen, Reizbeantwortung, Motilität, Teilungsverhalten oder Differenzierungsverhalten dieser Zellen verstanden. Eine Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen kann beispielsweise darin bestehen, dass diese Zellen nicht oder nur in ungenügendem Maße proliferieren. Da durch die Verwendung von Erythropoietin die Proliferation endothelialer Vorläuferzellen stimuliert wird, kann dadurch das defizitäre Teilungsverhalten sowohl von endothelialen Vorläuferzellen als auch von bereits ausdifferenzierten Endothelzellen ausgeglichen und die Anzahl von endothelialer Vorläuferzellen beziehungsweise Endothelzellen erhöht werden. Eine Dysfunktion endothelialer Vorläuferzellen kann beispielsweise in der gestörten Fähigkeit dieser Zellen zur Differenzierung zu Endothelzellen bestehen. Die Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen kann auch bedingt sein durch deren gestörte Fähigkeit zur Adhäsion und/oder deren gestörte Fähigkeit zur Migration in Richtung eines angiogenen oder vaskulogenen Stimulus. Solche Dysfunktionen von endothelialen Vorläuferzellen können dazu führen, dass beispielsweise die Neubildung von Endothelge-

webe und/oder Vaskulogenese beeinträchtigt oder verhindert wird. Eine Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen kann auch pathogen bedingt sein, beispielsweise durch Hypertonie, Hyperlipoproteinämie, Urämie oder Diabetes. Die Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen kann sich beispielsweise in einer verminderten Produktion von NO (=EDRF) durch NO-Synthasen (NOS) aus L-Arginin, erhöhter Endothelin-Produktion und/oder in einer verstärkten Produktion von Adhäsionsmolekülen wie ICAM-1 und VCAM-1 äußern.

Erfindungsgemäß handelt es sich bei den Krankheiten, die mit einer Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen im Zusammenhang stehen, insbesondere um Hypercholesterinämie, Diabetes mellitus, Endothel-vermittelte chronische Entzündungserkrankungen wie Gefäßentzündungen, Endotheliose einschließlich Retikuloendotheliose, Atherosklerose, koronare Herzkrankheit, Myokard-Ischämie, Angina pectoris, altersbedingte Herz-Kreislauf-Erkrankung, ischämische Erkrankungen der Extremitäten, Raynaud-Krankheit, Präeklampsie, schwangerschaftsinduzierte Hypertonie, chronische oder akute Niereninsuffizienz, insbesondere terminale Niereninsuffizienz, Herzinsuffizienz, Wundheilung sowie Folgeerkrankungen davon.

Eine „Hypercholesterinämie“ ist durch erhöhte Konzentrationen von Cholesterin im Blut gekennzeichnet. Die weitaus häufigste Form der primären Hypercholesterinämien ist die polygene Hypercholesterinämie. Sekundäre Hypercholesterinämien treten häufig

- 20 -

bei Diabetes mellitus, nephrotischem Syndrom, Hypothyreose und Lebererkrankungen auf.

Unter „Diabetes mellitus“ werden verschiedene Formen von Glucose-Stoffwechselstörungen mit unterschiedlicher Ätiologie und Symptomatik zusammengefasst. Für die Entstehung vaskulär bedingter diabetischer Komplikationen ist insbesondere das AGE-RAGE-System verantwortlich. AGEs (Advanced Glycation Endproducts) entstehen über eine Reihe komplexer Reaktionen nach lang andauernder Exposition von Proteinen oder Lipiden mit reduzierenden Zuckern, beispielsweise Glucose. Die Bildung von AGEs findet während des normalen Alterungsprozesses sowie in gesteigertem Maße bei Diabetes mellitus und Alzheimer-Krankheit statt. Über die Bindung von AGEs kommt es zu oxidativem Stress, zur Aktivierung des Transkriptionsfaktors NF- $\kappa$ B und damit zu einer Störung der endothelialen Homöostase.

„Endothel-vermittelte chronische Entzündungserkrankungen“ sind Erkrankungen oder Zustände eines menschlichen oder tierischen Körpers, die auf einer Abwehrreaktion des Organismus und seiner Gewebe auf schädigende Reize beruhen, wobei bestimmte Signalmoleküle die Eigenschaften von Endothelzellen verändern, so dass im Zusammenspiel mit der Aktivierung anderer Zelltypen Leukozyten an den Endothelzellen haften bleiben, schließlich in das Gewebe eindringen und dort eine Entzündung auslösen. Ein Beispiel für eine Endothel-vermittelte Entzündung ist die leukozytische Vaskulitis. Eine zentrale Rolle bei der Aktivierung eines Endothel-vermittelten entzündlichen Geschehens spielt der

Transkriptionsfaktor NF- $\kappa$ B. Ein anderes System, dass zur Entstehung Endothelzell-vermittelter chronischer Entzündungen führt, ist das AGE-RAGE-System.

- 5 Unter „Endotheliose“ werden degenerative und proliferative Endothelveränderungen bei der nicht-thrombopenischen Purpura verstanden. Unter „Retikuloendotheliose“ werden Krankheiten des retikulo-
- 10 histiozytären Systems, wie Retikulum, Retikulose, Retikulohistiozytose und Hand-Schüller-Christian-Krankheit verstanden.

- Unter „Myokard-Ischämie“ wird die Blutleere oder Minderdurchblutung, also eine Durchblutungsstörung der muskulären Wand des Herzens infolge unzurei-
- 15 chender oder fehlender arterieller Blutzufuhr verstanden. Bei einem „Herzinfarkt“ oder „Myokardinfarkt“ handelt es sich um eine Nekrose eines umschriebenen Herzmuskelbezirks, die meist als akut auftretende Komplikation bei chronischer koronarer
- 20 Herzkrankheit auftritt. Bei der „koronaren Herzkrankheit“ oder „ischämischen Herzkrankheit“ handelt es sich um eine degenerative Koronarerkrankung, die bedingt durch eine Einengung oder einen Verschluss von Herzkranzgefäßen zu einer verminder-
- 25 ten Durchblutung des Herzmuskels führt. Unter „Angina pectoris“ wird eine akute Koronarinsuffizienz oder Stenokardie verstanden, die durch ein Missverhältnis von Sauerstoffangebot und Sauerstoffbedarf bei koronarer Herzkrankheit, Koronarspasmen, Störungen des Blutflusses, Herzrhythmusstörungen, Hypertonie oder Hypotonie ausgelöst werden kann. Unter
- 30 „Raynaud-Krankheit“ werden durch Vasokonstrik-

- 22 -

tion, das heißt Gefäßkrämpfe, bedingte, anfallartig auftretende Ischämiezustände meist an den Arterien der Finger verstanden. Die primäre Raynaud-Krankheit ist eine rein funktionelle Störung der  
5 kleinen versorgenden Gefäße der Akren, während der sekundären Rynaud-Krankheit eine andere Krankheit zugrunde liegt, beispielsweise eine Gefäßentzündung.

Die „Präeklampsie ist eine Endothel-und Gefäß-  
10 krankheit des mütterlichen Organismus und scheint die Auswirkung von endotheliotropen Substanzen aus der Plazenta zu sein. Die Präeklampsie ist eine Multisystem-Erkrankung, die zu Funktionsstörungen zahlreicher Organe führen und sich in vielfältigen  
15 Symptomen äußern kann. Die für die Erkrankung typischen Durchblutungsstörungen sind die Folge eines erhöhten Gefäßwiderstandes, der lokal unterschiedlich ausgeprägt sein kann. Für die Präeklampsie gilt als gesichert, dass eine endotheliale Dysfunktion  
20 zentraler Bestandteil der Pathogenese ist.

Unter „Niereninsuffizienz“ wird im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung die eingeschränkte Fähigkeit der Nieren zur Ausscheidung harnpflichtiger Substanzen verstanden, wobei in fortgeschrittenen  
25 Stadien auch die Regulationsfähigkeit des Elektrolyt-, Wasser- und Säure-Basen-Haushalts verloren geht. Die terminale Niereninsuffizienz ist durch einen Zusammenbruch der exkretorischen und endokrinen Nierenfunktion gekennzeichnet.

30 Bei der Niereninsuffizienz kann es sich erfindungsgemäß um akute Niereninsuffizienz handeln, die auch

als akutes Nierenversagen, Schockniere oder Schockanurie bezeichnet wird. Akute Niereninsuffizienz ist durch einen plötzlichen partiellen oder totalen Verlust der exkretorischen Nierenfunktion als Folge eines meist reversiblen Nierenschadens gekennzeichnet. Ursache können eine Minderperfusion durch Hypovolämie, Hypotonie und Dehydratation in Folge von Blutverlusten (Polytrauma, gastrointestinale oder postpartale Blutung, große operative Eingriffe an Herz, Gefäßen, Abdomen oder Prostata), Schock (Myokardinfarkt, Embolie), schwerer Infektionen (Sepsis, Peritonitis, Cholezystitis), Hämolyse (hämolytisch-urämisches Syndrom, paroxysmale Hämoglobinurie, Transfusionszwischenfall), Myolyse (Crush-Syndrom, Rhabdomyolyse, Myositis, Verbrennungen), Wasser- und Elektrolytverlusten (massives Erbrechen, Durchfälle, exzessives Schwitzen, Ileus, akute Pankreatitis). Weitere Ursachen können Nephrotoxine wie exogene Toxine, beispielsweise Anilin, Glykolverbindungen, Methanol und ähnliche, oder endogene Toxine, beispielsweise Myoglobin und Oxalate, sein. Weitere Ursachen für akute Niereninsuffizienz sind Nierenkrankheiten, beispielsweise entzündliche Nephropatien oder Abstoßungsreaktionen nach Nierentransplantation, sein. Akute Niereninsuffizienz kann auch durch eine Harnstauung in Folge von Harnabflussbehinderungen verursacht werden. Die erfindungsgemäße Behandlung akuter Niereninsuffizienz mit Erythropoietin führt erfindungsgemäß zur Verhinderung oder zumindest zur Verminderung der Progression der akuten Niereninsuffizienz.

Bei der Niereninsuffizienz kann es sich erfindungsgemäß auch um eine chronische Niereninsuffizienz

handeln. Ursachen der chronischen Niereninsuffizienz sind vaskuläre, glomeruläre und tubulointerstitielle Nierenerkrankungen, Infektionen sowie angeborene oder erworbene Strukturdefekte. Ursachen  
5 der chronischen Niereninsuffizienz sind unter anderem chronische Glomerulopathie, chronische Pyelonephritis, Analgetika-Nephropathie, obstruktive Uropathie sowie Arterio- und Arteriolosklerose. Die chronische Niereninsuffizienz geht terminal in die  
10 Urämie über. Die erfindungsgemäße Behandlung von chronischer Niereninsuffizienz mit Erythropoietin führt erfindungsgemäß zur Verminderung der Progression von chronischer Niereninsuffizienz.

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird  
15 unter „Herzinsuffizienz“ ein Krankheitsbild verstanden, das auch als Myokardinsuffizienz oder Herzmuskelschwäche bezeichnet wird. Herzinsuffizienz ist durch eine unzureichende Funktion des Herzens charakterisiert, bei der das Herz nicht  
20 mehr im Stande ist, eine den Anforderungen entsprechende Förderleistung zu erbringen. Die Einteilung der Herzinsuffizienz kann unter verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Entsprechend dem betroffenen Herzabschnitt erfolgt beispielsweise eine Ein-  
25 teilung in Rechtsherzinsuffizienz, Linksherzinsuffizienz und beiderseitige Insuffizienz (Globalinsuffizienz). Nach der Stabilität eines durch physiologische und therapeutische Mechanismen beeinflussten Gleichgewichtes wird zwischen kompensierter und dekompensierter Herzinsuffizienz unter-  
30 schieden. Entsprechend des Verlaufes erfolgt eine Einteilung in akute und chronische Herzinsuffizienz. Ursachen für eine Herzinsuffizienz sind un-

- 25 -

ter anderem Herzinfarkt, Kardiomyopathie, angeborene oder erworbene Herzfehler, arterielle oder pulmonale Hypertonie, Herzrhythmusstörungen, koronare Herzkrankheit oder Myokarditis.

- 5 Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung werden unter „Wundheilung“ die physiologischen Vorgänge zur Regeneration zerstörten Gewebes beziehungsweise zum Verschluss einer Wunde, insbesondere die Neubildung von Bindegewebe und Kapillaren verstanden.
- 10 Bei der Wundheilung kann es sich um eine primäre Wundheilung (*Sanatio per primam intentionem*) handeln, die durch einen raschen und komplikationslosen Verschluss und weitgehende *Restitutio ad integrum* infolge minimaler Bindegewebeneubildung zwischen den gut durchbluteten und gegebenenfalls adaptierten Wundrändern einer sauberen Wunde gekennzeichnet ist. Bei Wunden mit weiter auseinanderliegenden, insbesondere gequetschten oder nekrotischen Wundrändern beziehungsweise Wundinfektionen erfolgt
- 15 eine verzögerte sekundäre Wundheilung (*Sanatio per secundam intentionem*), bei der es infolge einer (a)bakteriellen Entzündung zur Auffüllung des Gewebedefektes mit Granulationsgewebe und ausgedehnteren Bildung von Narbengewebe kommt. Die Epithelisierung vom Rand her bildet den Abschluss der Wundheilung. Die Wundheilung untergliedert sich in die drei Phasen, nämlich Latenzphase, Proliferationsphase und Reparationsphase. Die Latenzphase wiederum untergliedert sich in die exsudative Phase
- 20 mit Schorfbildung, insbesondere in den ersten Stunden nach Entstehung der Wunde, und die resorptive Phase mit kataboler Autolyse, die sich über einen Zeitraum von ein bis drei Tagen nach Entstehung der
- 25
- 30

Wunde erstreckt. Die Proliferationsphase ist durch eine anabole Reparation mit Bildung von Collagen durch Fibroblasten gekennzeichnet und tritt am vierten bis siebten Tag nach Entstehung der Wunde auf. Ab dem achten Tag nach Entstehung der Wunde tritt die Reparationsphase auf, die durch Umwandlung des Granulationsgewebes in eine Narbe gekennzeichnet ist.

Unter einer „Wunde“ wird im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung eine Unterbrechung des Zusammenhangs von Körpergeweben mit oder ohne Substanzverlust verstanden, die durch mechanische Verletzung oder physikalisch bedingte Zellschädigung verursacht wird. Wundformen sind mechanische Wunden, thermische Wunden, chemische Wunden, strahlenbedingte Wunden und krankheitsbedingte Wunden. Mechanische Wunden entstehen durch äußere Gewalteinwirkung und treten vor allem als Schnitt- und Stichwunden, Quetsch-, Platz-, Riss- und Schürfwunden, Kratz- und Bisswunden und Schusswunden auf. Thermische Wunden entstehen durch Einwirkung von Hitze oder Kälte. Chemische Wunden entstehen insbesondere durch Verätzung mit Säuren oder Laugen. Strahlenbedingte Wunden entstehen beispielsweise durch Einwirkung aktinischer und ionisierender Strahlung. Krankheitsbedingt auftretende Wunden sind insbesondere stauungsbedingte Wunden, traumatische Wunden, diabetische Wunden etc.. Erfindungsgemäß ist insbesondere vorgesehen, dass zur Wundheilung Erythropoietin vorzugsweise topisch oder intravenös appliziert wird.

- 27 -

Die vorliegende Erfindung betrifft daher die Verwendung von Erythropoietin zur Therapie von Hypercholesterinämie, Diabetes mellitus, Endothelvermittelten chronischen Entzündungserkrankungen, 5 Endotheliose einschließlich Retikuloendotheliose, Atherosklerose, koronarer Herzkrankheit, Myokard-Ischämie, Angina pectoris, altersbedingten Herz-Kreislauf-Erkrankungen, ischämischen Erkrankungen der Extremitäten, Präeklampsie, Raynaud-Krankheit, 10 schwangerschaftsinduzierter Hypertonie, chronischer oder akuter Niereninsuffizienz, insbesondere terminaler Niereninsuffizienz, Herzinsuffizienz, Wundheilung und Folgeerkrankungen davon.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass Erythropoietin 15 in einer therapeutisch wirksamen Dosis an einen Patienten verabreicht wird, die ausreicht, den Zustand einer vorgenannten Krankheit, insbesondere einer Krankheit, die im Zusammenhang mit einer Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen steht, 20 zu heilen oder diesem Zustand vorzubeugen, die Progression einer solchen Krankheit zu stoppen und/oder die Symptome einer solchen Krankheit zu lindern. Die an einen Patienten zu verabreichende Dosis hängt von vielen Faktoren, beispielsweise dem 25 Alter, Körpergewicht und Geschlecht des Patienten, der Schwere der Erkrankungen usw. ab.

Erfindungsgemäß besonders bevorzugt wird Erythropoietin in allen Verwendungen, Verfahren und Zusammensetzungen der vorliegenden Lehre in sehr geringen Mengen, die unterhalb der bekanntermaßen eingesetzten Mengen liegen, verwendet, wobei insbesondere in vivo, d.h. pro Patient, EPO-Dosen von 200 bis 30

2000 Einheiten (IU; International Units)/Woche, vorzugsweise Dosen von 500 bis 2000 IU/Woche, je nach Schwere der Erkrankung und in Abhängigkeit von der Nierenfunktion, verabreicht werden. Bei den erfindungsgemäß vorgesehenen Dosen von 200 bis 2000 Einheiten (IU)/Woche und pro Patient, insbesondere von 500 bis 2000 IU/Woche und pro Patient, handelt es sich um subpolycythämische Dosen, das heißt Dosen, die nicht zu einer Erythrozythose mit Hämatokritwerten von mehr als 50% führen. Die erfindungsgemäß vorgesehenen subpolycythämischen Dosen entsprechen wöchentlichen Dosen von etwa 1 bis 90 Einheiten (IU) EPO/kg Körpergewicht, insbesondere 1 bis 45 IU EPO/kg Körpergewicht, oder einer vergleichbaren Wochendosis Aranesp von 0,05 bis 20 µg/kg Körpergewicht, insbesondere 0,05 bis 10 µg/kg Körpergewicht. Bei Aranesp handelt es sich um ein doppelt PEG-yliertes EPO. Die Dosis von 200 bis 2000 Einheiten/Woche pro Patient, insbesondere von 500 bis 2000 IU/Woche und pro Patient, die erfindungsgemäß zur Behandlung von Krankheiten oder Krankheitszuständen vorgesehen ist, die mit einer Dysfunktion endothelialer Vorläuferzellen einhergehen, ist im Vergleich zu der üblicherweise zur Therapie renaler Anämie eingesetzten Anfangsdosis von 50-150 IU/kg Körpergewicht/Woche (in der Regel beginnend mit 4000-8000 IU/Woche, bei nicht befriedigendem Therapieergebnis jedoch auch wesentlich höher) sehr niedrig.

Eine besonders bevorzugte Ausführungsform der Erfindung betrifft die Verwendung von Erythropoietin und/oder dessen Derivaten als Wirkstoff zur Herstellung einer pharmazeutischen Zusammensetzung o-

der eines Arzneimittels zur Therapie von Krankheitszuständen oder Krankheiten, die mit einer Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen im Zusammenhang stehen.

- 5 Erfindungsgemäß wird unter einem „Wirkstoff“ ein körpereigener oder körperfremder Stoff verstanden, der bei Kontakt mit Zielmolekülen oder Zielzellen oder Zielgeweben spezifische Funktionen von Gewe-
- 10 ben, Organen oder Organismen in differenzierter Weise beeinflusst. Erfindungsgemäß ist also vorgesehen, dass Erythropoietin als Wirkstoff der erfindungsgemäßen pharmazeutischen Zusammensetzung bei Kontakt mit endothelialen Vorläuferzellen deren Proliferations-, Differenzierungs- und/oder Migra-
- 15 tionsverhalten in einem menschlichen oder tierischen Organismus so beeinflusst, dass Dysfunktionen von endothelialen Vorläuferzellen ausgeglichen und die infolge dieser Dysfunktionen auftretenden Krankheiten wirksam bekämpft, gelindert oder besei-
- 20 tigt werden können beziehungsweise diesen Krankheiten wirksam vorgebeugt werden kann.

- Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter einer „pharmazeutischen Zusammensetzung“ oder einem „Arzneimittel“ ein zu diagnostischen, therapeu-
- 25 tischen und/oder prophylaktischen Zwecken verwendetes, also ein die Gesundheit eines menschlichen oder tierischen Körpers förderndes oder wiederherstellendes Gemisch verstanden, das mindestens einen natürlichen oder synthetisch hergestellten
- 30 Wirkstoff umfasst, der die therapeutische Wirkung hervorruft. Die pharmazeutische Zusammensetzung kann sowohl ein festes als auch ein flüssiges Ge-

- 30 -

5 misch sein. Beispielsweise kann eine den Wirkstoff umfassende pharmazeutische Zusammensetzung einen oder mehrere pharmazeutisch verträgliche Komponenten enthalten. Darüber hinaus kann die pharmazeuti-  
10 sche Zusammensetzung üblicherweise auf dem Fachgebiet verwendete Zusatzstoffe, beispielsweise Stabilisatoren, Fertigungsmittel, Trennmittel, Sprengmittel, Emulgatoren oder andere üblicherweise zur Herstellung pharmazeutischer Zusammensetzung verwendete Stoffe umfassen.

Erfindungsgemäß ist insbesondere die Verwendung von Erythropoietin und/oder eines Derivats davon als Wirkstoff zur Herstellung eines Arzneimittels zur Therapie von Hypercholesterinämie, Diabetes melli-  
15 tus, Endothel-vermittelten chronischen Entzündungserkrankungen wie Gefäßentzündungen, Endotheliose einschließlich Retikuloendotheliose, Atherosklerose, koronarer Herzkrankheit, Myokard-Ischämie, Angina pectoris, altersbedingter Herz-Kreislauf-  
20 Erkrankung, ischämischen Erkrankungen der Extremitäten, Raynaud-Krankheit, Präeklampsie, schwangerschaftsinduzierter Hypertonie, akuter oder chronischer Niereninsuffizienz, insbesondere terminaler Niereninsuffizienz, Herzinsuffizienz, Wundheilung  
25 sowie Folgeerkrankungen davon vorgesehen.

Die erfindungsgemäße pharmazeutische Zusammensetzung kann sowohl zur topischen als auch zur systemischen Verabreichung geeignet sein.

30 In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die pharmazeutische Zusammensetzung zur parenteralen, insbesondere intravenö-

sen, intramuskulären, intrakutanen oder subkutanen Verabreichung verwendet wird. Vorzugsweise weist das Erythropoietin enthaltende Arzneimittel die Form einer Injektion oder Infusion auf.

- 5 In einer weiteren Verwendung ist vorgesehen, dass die Erythropoietin enthaltende pharmazeutische Zusammensetzung oral verabreicht wird. Beispielsweise wird das Erythropoietin enthaltende Arzneimittel in einer flüssigen Darreichungsform wie einer Lösung,  
10 Suspension oder Emulsion, oder einer festen Darreichungsform wie einer Tablette verabreicht.

- In einer weiteren Verwendung ist vorgesehen, dass die pharmazeutische Zusammensetzung zur pulmonalen Verabreichung oder zur Inhalation geeignet ist. Erfindungsgemäß ist also vorgesehen, dass Erythropoietin in therapeutisch wirksamer Weise direkt an die Lungen des Patienten verabreicht wird. Diese Form der Verabreichung von Erythropoietin ermöglicht eine schnelle Abgabe einer Erythropoietin-Dosis an  
15 einen Patienten, ohne dass eine Injektion vorgenommen werden muss. Bei Aufnahme von Erythropoietin über die Lungen können erhebliche Erythropoietin-Mengen über die Lunge an den Blutkreislauf abgegeben werden, was im Blutkreislauf zu erhöhten Erythropoietin-Mengen führt. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung handelt es sich bei der über die Lunge aufzunehmenden pharmazeutischen Zusammensetzung um eine wässrige oder nichtwässrige Lösung oder um ein Trockenpulver. Bei Vorliegen des  
20 pulmonal zu verabreichende, Erythropoietin enthaltenden Arzneimittel in Form eines Trockenpulvers umfasst dieses vorzugsweise Erythropoietin-
- 25  
30

enthaltende Partikel, wobei die Partikel einen Durchmesser von weniger als 10 µm aufweisen, so dass das Medikament auch distale Bereiche der Lunge des Patienten erreichen kann. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass das pulmonal zu verabreichende Medikament in Form eines Aerosols vorliegt.

Eine besonders bevorzugte Ausführungsform der Erfindung betrifft die Verwendung von Erythropoietin zur Herstellung einer pharmazeutischen Zusammensetzung zur Therapie von Krankheiten, die mit einer Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen im Zusammenhang stehen, wobei die pharmazeutische Zusammensetzung neben Erythropoietin als Wirkstoff mindestens einen weiteren zusätzlichen Wirkstoff zur Stimulierung von endothelialen Vorläuferzellen enthält.

Vorzugsweise handelt es sich bei dem weiteren Wirkstoff um einen Wirkstoff, der insbesondere die physiologische Mobilisierung endothelialer Vorläuferzellen aus dem Knochenmark stimuliert. Erfindungsgemäß kann es sich bei dem weiteren Wirkstoff aber auch um einen Wirkstoff handeln, der insbesondere das Teilungsverhalten, also die Proliferation endothelialer Vorläuferzellen stimuliert. Erfindungsgemäß besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass der weitere Wirkstoff insbesondere das Differenzierungsverhalten und/oder das Migrationsverhalten endothelialer Vorläuferzellen stimuliert. Besonders bevorzugt handelt es sich bei dem weiteren, endotheliale Vorläuferzellen stimulierenden Wirkstoff um VEGF, PIGF, GM-CSF, einen HMG-CoA-Reduktase-

- 33 -

Inhibitor, insbesondere ein Statin wie Simvastatin, Mevastatin oder Atorvastatin, und/oder einen NO-Donator, insbesondere L-Arginin.

5 Erfindungsgemäß ist auch vorgesehen, dass der mindestens eine weitere Wirkstoff insbesondere ausdifferenzierte Endothelzellen, das heißt deren Proliferation und/oder Migration stimuliert, nicht jedoch endotheliale Vorläuferzellen. Besonders bevorzugt handelt es sich dabei um bFGF (basic  
10 fibroblast growth factor) oder Angiogenin.

Eine weitere Ausführungsform der Erfindung betrifft die Verwendung von Erythropoietin und/oder Derivaten davon als Wirkstoff zur Herstellung einer pharmazeutischen Zusammensetzung zur Stimulierung endothelialer Vorläuferzellen, insbesondere zur Stimu-  
15 lierung der Mobilisierung, Proliferation, Differenzierung zu Endothelzellen und/oder zur Migration in Richtung eines vaskulogenen oder angiogenen Stimulus. Erfindungsgemäß ist weiterhin die Verwendung  
20 von Erythropoietin und/oder dessen Derivaten als Wirkstoff zur Herstellung einer pharmazeutischen Zusammensetzung zur Stimulierung von Vaskulogenese und/oder Endothelbildung, insbesondere im adulten menschlichen oder tierischen Organismus vorgesehen. . . . .

25 Die vorliegende Erfindung betrifft daher auch pharmazeutische Zusammensetzungen zur Stimulierung von endothelialen Vorläuferzellen, insbesondere zur Stimulation von deren Mobilisierung, Proliferation, Differenzierung zu Endothelzellen und/oder Migrati-  
30 on in Richtung eines vaskulogenen oder angiogenen Stimulus, zur Stimulation der Vaskulogenese

und/oder Endothelbildung und zur Behandlung von Krankheiten des menschlichen oder tierischen Körpers, die mit einer Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen und/oder Endothelzellen im Zusammenhang stehen. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung pharmazeutische Zusammensetzungen oder Arzneimittel, die Erythropoietin als Wirkstoff und mindestens einen weiteren Wirkstoff zur Stimulation von endothelialen Vorläuferzellen und/oder ausdifferenzierten Endothelzellen umfassen. In bevorzugter Ausführungsform betrifft die vorliegende Erfindung pharmazeutische Zusammensetzungen, die Erythropoietin und mindestens einen weiteren Wirkstoff aus der Gruppe bestehend aus VEGF, PlGF, GM-CSF, einen HMG-CoA-Reduktase-Inhibitor, insbesondere ein Statin wie Simvastatin, Mevastatin oder Atorvastatin, einen NO-Donator, insbesondere L-Arginin, bFGF und Angiogenin umfassen.

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform der Erfindung betrifft die Verwendung von Erythropoietin zur Herstellung eines transplantierbaren Endothelzell-Präparates. Erfindungsgemäß ist dabei insbesondere vorgesehen, dass Endothelzellen in vitro durch Kultivierung endothelialer Vorläuferzellen in Gegenwart von Erythropoietin hergestellt und anschließend in einen Empfängerorganismus, insbesondere einen Organismus, der an einer Krankheit leidet, die im Zusammenhang mit einer Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen steht, transplantiert werden. Beispielsweise können mononukleäre Zellen (MNC) aus Blut mittels Dichtegradientenzentrifugation isoliert und in geeigneten Kulturmedien in vitro kultiviert werden. Verfahren zur Iso-

lierung und in vitro-Kultivierung mononukleärer Zellen sind beispielsweise in Asahara, Science, 275 (1997), 964-967; Dimmeler et al., J. Clin. Invest., 108 (2001), 391-397, und Llevadot et al., J. Clin. Invest., 108 (2001), 399-405, beschrieben. Anschließend werden die mononukleären Zellen in Gegenwart von Erythropoietin weiter kultiviert, um die in den MNCs enthaltenen endothelialen Vorläuferzellen bezüglich ihres Proliferations- und Differenzierungsverhaltens zu stimulieren und insbesondere die Anzahl differenzierter adhärenter Endothelzellen zu erhöhen. Erfindungsgemäß ist auch vorgesehen, dass die Kultivierung der MNCs in Gegenwart von Erythropoietin und mindestens einer weiteren Substanz, die die Proliferation und Differenzierung endothelialer Vorläuferzellen stimuliert, erfolgt. Besonders bevorzugt wird als weitere Substanz VEGF, PlGF, GM-CSF, ein NO-Donator wie L-Arginin oder ein HMG-CoA-Reduktase-Inhibitor wie ein Statin, insbesondere Simvastatin, Mevastatin oder Atorvastatin, eingesetzt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Verwendung von Erythropoietin zur Vorbehandlung und/oder Weiterbehandlung von zu transplantierenden Geweben oder Organen vorgesehen. Dabei werden die Transplantate vor der Transplantation, vorzugsweise unmittelbar davor, noch im Spenderorganismus mit Erythropoietin behandelt. Der Empfängerorganismus kann ebenfalls mit Erythropoietin vom Zeitpunkt der Transplantation an behandelt werden. Durch diese Behandlung der zu transplantierenden Organe oder Gewebe sowohl direkt vor als auch nach Transplantation mit Erythropoietin wird

erfindungsgemäß erreicht, dass sich in dem Transplantat nach erfolgter Transplantation in einen Körper aufgrund der induzierten Vaskulogenese schnell neue Blutgefäße bilden und diese neu gebildeten Blutgefäße schnell mit dem Blutsystem des Empfängerorganismus verbunden werden. Ebenfalls wird auf diese Weise schnell die Bildung von Endothelien erreicht. Die Behandlung von Organ- oder Gewebetransplantaten mit Erythropoietin bewirkt somit ein schnelleres Einwachsen dieser Systeme in den Körper, wodurch das Risiko einer Abstoßung erheblich vermindert wird.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Organ- oder Gewebetransplantate vor Transplantation mit Erythropoietin in Kombination mit mindestens einem weiteren Faktor, der endotheliale Vorläuferzellen stimuliert, behandelt werden. Vorzugsweise handelt es sich bei diesem Faktor um eine Substanz aus der Gruppe bestehend aus VEGF, PlGF, GM-CSF, einem HMG-CoA-Reduktase-Inhibitor, beispielsweise ein Statin, insbesondere Simvastatin, Mevastatin oder Atorvastatin, oder einen NO-Donator, insbesondere L-Arginin. In einer weiteren Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die Organ- oder Gewebetransplantate vor Transplantation neben Erythropoietin mit einer weiteren Substanz, die die Proliferation und Migration ausdifferenzierter Endothelzellen stimuliert, behandelt werden. Besonders bevorzugt handelt es sich bei dieser Substanz um Angiogenin oder bFGF. In einer weiteren Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die Vorbehandlung der Organ- oder Gewebetransplantate mit Erythropoietin unter Verwendung isolierter und gege-

benenfalls in vitro expandierter endothelialer Vorläuferzellen erfolgt.

In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass Erythropoietin zur Herstellung von implantierbaren oder transplantierbaren, zellhaltigen in vitro-Organen oder -Geweben verwendet wird. Erfindungsgemäß ist insbesondere vorgesehen, dass das in vitro hergestellte Organ oder Gewebe vor der Transplantation oder Implantation mit Erythropoietin in vitro behandelt wird, um die im Körper des Empfängerorganismus vorhandenen endothelialen Vorläuferzellen, insbesondere deren physiologische Mobilisierung, Migration, Proliferation und Differenzierung, zu stimulieren. Vorzugsweise wird der Empfängerorganismus nach Transplantation beziehungsweise Implantation des in vitro-Organs oder -Gewebes weiter mit Erythropoietin in den erfindungsgemäßen Dosen behandelt. Durch die Behandlung des in vitro-Organs oder Gewebes vor Transplantation beziehungsweise Implantation mit Erythropoietin und gegebenenfalls die Nachbehandlung des Empfängerorganismus mit Erythropoietin wird erfindungsgemäß erreicht, dass sich in dem in vitro-Organ- oder -Gewebesystem nach erfolgter Transplantation oder Implantation in einen Körper aufgrund der induzierten Vaskulogenese schnell neue Blutgefäße bilden und diese neu gebildeten Blutgefäße schnell mit dem Blutsystem des Empfängerorganismus verbunden werden. Ebenfalls wird auf diese Weise schnell die Bildung von Endothelien und damit eine Reendothelialisierung erreicht. Die Behandlung der in vitro-Organ- oder -Gewebesysteme mit Erythropoietin bewirkt somit ein

- 38 -

schnelleres Einwachsen dieser Systeme in den Körper, wodurch das Risiko einer Abstoßung erheblich vermindert wird, und dient der Protektion des Transplantats.

5 Unter einem „in vitro-Organ- oder -Gewebesystem“ wird ein transplantierbares oder implantierbares zellhaltiges Gewebe oder Organ verstanden, das in vitro unter Verwendung definierter Zellen und/oder definierter Gewebe und unter definierten Kulturbedingungen hergestellt wird. Unter einem „implantierbaren in vitro-Organ- oder -Gewebesystem“ wird ein System verstanden, das neben Zellen körperfremde Materialien umfasst. Unter einem „transplantierbaren in vitro-Organ- oder -Gewebesystem“ wird insbesondere ein zellhaltiges System verstanden, das neben Zellen, Geweben oder Organen des gleichen oder eines anderen Individuums körpereigene Substanzen enthält. In vitro-Organe oder -Gewebe sind insbesondere dadurch gekennzeichnet, dass sie bezüglich ihres Aufbaus weitgehend den nativen zu ersetzenden Organen oder Geweben entsprechen und somit die Funktion der ersetzten nativen Organe oder Gewebe in vivo übernehmen können.

25 In einer erfindungsgemäßen Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die in vitro-Organ- oder -Gewebesysteme vor Transplantation beziehungsweise Implantation mit Erythropoietin in Kombination mit mindestens einem weiteren Faktor, der endotheliale Vorläuferzellen stimuliert, behandelt werden. Vorzugsweise handelt es sich bei diesem Faktor um eine Substanz aus der Gruppe bestehend aus VEGF, PIGF, GM-CSF, 30 einen HMG-CoA-Reduktase-Inhibitor, insbesondere

Simvastatin, Mevastatin oder Atorvastatin, und einem NO-Donator. In einer weiteren Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die in vitro-Organ- oder -Gewebesysteme vor Transplantation beziehungsweise  
5 Implantation neben Erythropoietin mit einer weiteren Substanz, die die Proliferation und Migration ausdifferenzierter Endothelzellen stimuliert, behandelt werden. Besonders bevorzugt handelt es sich bei dieser Substanz um Angiogenin oder bFGF. In ei-  
10 ner weiteren Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die in vitro-Organ- oder -Gewebesysteme zusätzlich isolierte und gegebenenfalls in vitro expandierte endotheliale Vorläuferzellen enthalten.

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform der Erfindung betrifft die Verwendung von Erythropoietin zur  
15 Herstellung von Gefäßprothesen oder Herzklappen, wobei die Gefäßprothesen oder Herzklappen vor Insertion in einen Körper, insbesondere einen menschlichen Körper, mit Erythropoietin beschichtet werden. Durch die Beschichtung der Gefäßprothesen oder  
20 Herzklappen mit Erythropoietin wird erreicht, dass endotheliale Vorläuferzellen im Körper des Empfängerorganismus stimuliert werden, wobei insbesondere ihre Mobilisierung aus dem Knochenmark, ihre Prolifera-  
25 tion, ihre Differenzierung zu Endothelzellen und ihre Migration zu den eingesetzten Gefäßprothesen oder Herzklappen stimuliert werden. Nach Einführung der so hergestellten Gefäßprothese oder Herzklappen in einen Körper kann dieser mit E-  
30 rythropoietin, insbesondere in den erfindungsgemäßen Dosen, weiterbehandelt werden. Dadurch bedingt, kommt es schneller zu einer Ausbildung von Endothelschichten auf den eingesetzten Gefäßprothesen

- 40 -

und zu einem schnelleren Einwachsen in die betroffenen Körperbereiche. In einer bevorzugten Ausgestaltung ist vorgesehen, dass zur Beschichtung der Gefäßprothesen und Herzklappen zusätzlich isolierte  
5 und gegebenenfalls in vitro expandierte endotheliale Vorläuferzellen eingesetzt werden.

Die vorliegende Erfindung betrifft ebenfalls ein Verfahren zur Stimulation der Endothelzell-Bildung in vitro, umfassend

- 10 a) die Isolierung endotheliale Vorläuferzellen enthaltender Zellpopulationen aus Blut mittels Dichtegradienten-Zentrifugation,
- b) die Kultivierung der isolierten, endotheliale Vorläuferzellen enthaltenden Zellpopulationen  
15 in Zellkulturmedium, und
- c) die Kultivierung der Zellpopulationen in Gegenwart von Erythropoietin.

Erfindungsgemäß kann die Kultivierung der Zellpopulationen in Gegenwart einer weiteren Substanz, die  
20 endotheliale Vorläuferzellen stimuliert, erfolgen.

Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Behandlung von Krankheiten, die mit einer Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen im Zusammenhang stehen, durch Verabreichung von Erythropoietin in einer Dosis von 200 bis 2000  
25 IU/Woche, insbesondere in einer Dosis von 500 bis 2000 IU/Woche, an einen Patienten mit einer solchen Krankheit. Das erfindungsgemäße Verfahren ist insbesondere zur Behandlung von Krankheiten des

menschlichen Körpers wie Hypercholesterinämie, Diabetes mellitus, Endothel-vermittelten chronischen Entzündungserkrankungen wie Gefäßentzündungen, Endotheliose einschließlich Retikuloendotheliose, Atherosklerose, koronarer Herzkrankheit, Myokard-Ischämie, Angina pectoris, altersbedingter Herz-Kreislauf-Erkrankung, ischämischen Erkrankungen der Extremitäten, Raynaud-Krankheit, Präeklampsie, schwangerschaftsinduzierter Hypertonie, akuter oder chronischer Niereninsuffizienz, insbesondere terminaler Niereninsuffizienz, Herzinsuffizienz, Wundheilung sowie Folgeerkrankungen geeignet.

In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Behandlung von Krankheiten, die mit einer Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen im Zusammenhang stehen, ist vorgesehen, dass dem Patienten neben Erythropoietin mindestens ein weiterer Wirkstoff ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus VEGF, PIGF, GM-CSF, einem HMG-CoA-Reduktase-Inhibitor und einem NO-Donator verabreicht wird. Vorzugsweise handelt es sich bei dem verabreichten HMG-CoA-Reduktase-Inhibitor um ein Statin wie Simvastatin, Mevastatin oder Atorvastatin. Bei dem verabreichten NO-Donator handelt es sich vorzugsweise um L-Arginin.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Behandlung von Krankheiten, die mit einer Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen im Zusammenhang stehen, ist vorgesehen, endotheliale Vorläuferzellen aus dem Blut eines menschlichen Organismus zu isolieren, unter Verwendung von Erythropoietin in vitro zu ex-

- 42 -

pandieren und zu Endothelzellen zu differenzieren und nach Aufreinigung und Isolierung der ausdifferenzierten Endothelzellen beziehungsweise der sich differenzierenden endothelialen Vorläuferzellen  
5 diese anschließend gezielt in einen Körperbereich, ein Gewebe oder ein Organ eines Patienten zu transplantieren, der/das aufgrund der Dysfunktion endothelialer Vorläuferzellen und/oder Endothelzellen geschädigt ist, um dort eine lokale Endothel-  
10 Neubildung zu induzieren. Auf diese Weise ist eine gezieltere und schnellere Behandlung der geschädigten Körperbereiche, Gewebe und/oder Organe des Patienten möglich. Diese Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Behandlung von Krank-  
15 heiten, die mit einer Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen im Zusammenhang stehen, umfasst die folgenden Schritte:

- 20 a) die Isolierung endotheliale Vorläuferzellen enthaltender Zellpopulationen aus Blut mittels Dichtegradienten-Zentrifugation,
- b) die Kultivierung der endotheliale Vorläuferzellen enthaltenden Zellpopulationen in Zellkulturmedium,
- 25 c) die Kultivierung der endotheliale Vorläuferzellen enthaltenden Zellpopulationen in Gegenwart von Erythropoietin zur Stimulation der Proliferation endothelialer Vorläuferzellen und/oder deren Differenzierung zu Endothelzellen,

- 43 -

- d) die Isolierung und Aufreinigung der ausdifferenzierten Endothelzellen, und
- e) die Transplantation der ausdifferenzierten Endothelzellen in einen Körper mit einer Krankheit, die mit einer Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen im Zusammenhang steht.

Nach Transplantation der ausdifferenzierten Endothelzellen in einen Körper kann dieser mit Erythropoietin, insbesondere in den erfindungsgemäß vorgesehenen Dosen von 200 bis 2000 IU/Woche, weiterbehandelt werden.

Erfindungsgemäß können die endotheliale Vorläuferzellen enthaltenden Zellpopulationen in vitro in Gegenwart mindestens eines weiteren Wirkstoffes ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus VEGF, PlGF, GM-CSF, einem HMG-CoA-Reduktase-Inhibitor und einem NO-Donator kultiviert werden. Vorzugsweise handelt es sich bei dem zur Kultivierung verwendeten HMG-CoA-Reduktase-Inhibitor um ein Statin wie Simvastatin, Mevastatin oder Atorvastatin.

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Behandlung von Gefäßerkrankungen, umfassend:

- a) die Isolierung endotheliale Vorläuferzellen enthaltender Zellpopulationen aus Blut mittels Dichtegradienten-Zentrifugation,

- 44 -

- b) die Kultivierung der endotheliale Vorläuferzellen enthaltenden Zellpopulationen in Zellkulturmedium,
- 5 c) die Kultivierung der endotheliale Vorläuferzellen enthaltenden Zellpopulationen in Gegenwart von Erythropoietin zur Stimulation der Proliferation endothelialer Vorläuferzellen und/oder deren Differenzierung zu Endothelzellen,
- 10 d) die Isolierung und Aufreinigung der ausdifferenzierter Endothelzellen, und
- e) die Transplantation der Endothelzellen in einen Körper mit einer Gefäßerkrankung.

15 Nach Transplantation der Endothelzellen in den Körper mit einer Gefäßerkrankung kann dieser mit Erythropoietin, vorzugsweise in den erfindungsgemäßen Dosen von 200 IU/Woche bis 2000 IU/Woche, weiterbehandelt werden.

20 Erfindungsgemäß besteht die Möglichkeit, die endotheliale Vorläuferzellen enthaltenden Zellpopulationen in Gegenwart mindestens eines weiteren Wirkstoffes ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus VEGF, PlGF, GM-CSF und/oder einem HMG-CoA-Reduktase-Inhibitor zu kultivieren. Vorzugsweise  
25 handelt es sich bei dem zur Kultivierung verwendeten HMG-CoA-Reduktase-Inhibitor um ein Statin wie Simvastatin, Mevastatin oder Atorvastatin.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Behandlung von Gefäßerkrankungen sieht also vor, endotheliale Vor-

- 45 -

läuferzellen aus dem Blut eines menschlichen Organismus zu isolieren, unter Verwendung von Erythropoietin in vitro zu expandieren und zu Endothelzellen zu differenzieren und nach Aufreinigung und Isolierung der ausdifferenzierten Endothelzellen beziehungsweise der sich differenzierenden endothelialen Vorläuferzellen diese anschließend gezielt in ein geschädigtes Blutgefäß oder einen ischämischen Bereich zu transplantieren, um dort eine lokale Neovaskularisierung zu induzieren. Auf diese Weise ist eine gezieltere und schnellere Behandlung geschädigter Blutgefäße oder ischämischer Gewebe möglich. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Behandlung von Gefäßerkrankungen ist insbesondere zur Behandlung von Gefäßerkrankungen wie Ischämie, insbesondere cerebraler Ischämie, ischämischer Erkrankungen der Extremitäten, Myokard-Ischämie, Herzinfarkt, Schlaganfall, koronare Herzkrankheit, Angina pectoris, akuten Arterienverschluss, arterielle Verschlusskrankheit, Raynaud-Krankheit und Ergotismus geeignet.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Erfindung wird anhand der folgenden Figuren und Beispiele näher erläutert.

Figur 1 zeigt die Ergebnisse einer FACS-Analyse zirkulierender CD34<sup>+</sup>-Stammzellen (cSC). (A-D): Patientenproben; (E-F): isotypische Kontrollen. cSC wurden anhand der zusätzlichen Expression des CD34-Markers (B und F), anhand der charakteristischen geringen bis mittleren CD45-Antigen-Expression

- 46 -

(Cund G) und anhand der charakteristischen Lichtstreuungs-Eigenschaften (D und H) identifiziert. Die absolute cSC-Anzahl wurde pro 100.000 Mono-und Lymphozyten berechnet.

5 Figur 2 zeigt eine quantitative Bestimmung zirkulierender Stammzellen mittels Durchflusszytometrie. Die Figur zeigt die zeitabhängige Wirkung einer Erythropoietin-Behandlung unter Verwendung von rhEPO (rekombinantes menschliches Erythropoietin) nach 0,  
10 2, 4, 6 und 8 Wochen. n=11, die Werte entsprechen Mittelwerten +/-Standardabweichung. Mediane als Linie dargestellt.

\*:  $p < 0,01$  im Vergleich zu 2 Wochen; □.□.  $p < 0,05$  im Vergleich zu 4 Wochen, #:  $p < 0,05$  im Vergleich  
15 zu 8 Wochen.

Figur 3 zeigt eine quantitative Bestimmung kultivierter endothelialer Vorläuferzellen (EPC). Die Figur zeigt, dass die rhEPO-Behandlung die relative Anzahl von EPCs erhöht. EPCs wurden vor der Behandlung renaler Patienten mit rhEPO sowie 2, 4, 6 und  
20 8 Wochen nach Behandlung der Patienten mit rhEPO isoliert und anhand ihrer Adhäsionsfähigkeit und der beiden Marker acLDL-Dil und UEA-1 FITC charakterisiert. n=11, die Werte entsprechen Mittelwerten +/-Standardabweichung. Mediane als Linie dargestellt.  
25

\*:  $p < 0,01$  gegenüber dem Zeitraum vor Behandlung;  
#:  $p < 0,001$  gegenüber dem Zeitraum vor Behandlung.

Figur 4 zeigt die quantitative Bestimmung kultivierter endothelialer Vorläuferzellen (EPC). Die  
30

- 47 -

Figur zeigt, dass die absolute Anzahl von EPCs vor Einsetzen einer rhEPO-Therapie signifikant gegenüber gesunden alters- und geschlechtsgematchten Probanden verringert ist. Patienten mit renaler Anämie zeigen also eine deutliche EPC-Dysfunktion gegenüber Kontrollpersonen. 8 Wochen nach Beginn der rhEPO-Therapie zur renalen Anämie wird diese verminderte Anzahl funktioneller EPC ausgeglichen. EPCs wurden vor der Behandlung renaler Patienten mit rhEPO sowie 2, 4, 6 und 8 Wochen nach Behandlung der Patienten mit rhEPO isoliert und anhand ihrer Adhäsionsfähigkeit und der beiden Marker acLDL-Dil und UEA-1 FITC charakterisiert. n=11. Dargestellt ist exemplarisch der 8-Wochenverlauf und die gesamten Kontrollen. Die absoluten Werte sind einerseits als Einzelwerte dargestellt. Zusätzlich sind Boxplots dargestellt (90-er/75-er/50-er/25-er und 10-er Percentile sowie der Mittelwert). Als gesunde Kontrolle dienten alters- und geschlechtsgematchte Probanden, bei denen analog EPCs isoliert und charakterisiert wurden (n =11).

Figur 5 zeigt die Wirkung von Erythropoietin auf die Wundheilung. Die Figur zeigt, dass bei Behandlung einer standardisierten Hautwunde, die bei Mäusen mittels einer Gewebestanze gesetzt worden war, mit Erythropoietin die Wunde bereits nach sieben bis acht Tagen vollständig verschlossen war, während bei Behandlung der Wunde mit physiologischer Kochsalzlösung (Saline) die Wunde erst nach dreizehn bis vierzehn Tagen vollständig verschlossen war. Die Behandlung mit Erythropoietin beziehungsweise physiologischer Kochsalzlösung begann 7 Tage vor Setzen der Hautwunde. Rekombinantes humanes E-

- 48 -

rythropoietin wurde einmalig wöchentlich mittels einer s.c. (subcutan)-Injektion (0,1 µg/kg Aranesp) verabreicht (je Gruppe n = 5).

Figur 6 zeigt, dass Erythropoietin den Nierenfunktionsverlust nach akutem Nierenversagen (akute Niereninsuffizienz) vermindert. Sprague Dawley-Ratten (250-300 g) wurden in die Studie eingeschlossen. Die Ratten wurden mit Ketamin (120 mg/kg) und Rompun (10 mg/kg) narkotisiert. Eine der Versuchsgruppen erhielt 0,1 µg/kg Körpergewicht Aranesp einmalig am Tag vor Induktion des akuten Nierenversagens. Als Vergleich diente eine Gruppe von Versuchstieren, denen jeweils zeitgleich Kochsalz s.c. injiziert wurde. Mittels Setzen einer Arterienklemme auf die rechte Nierenarterien wurde der Blutfluss in die Niere für 45 Minuten unterbrochen. In dieser Zeit wurde linksseitig eine Nephrektomie durchgeführt. Eine Scheinoperation wurde bei einer weiteren Kontrollgruppe durchgeführt. Hierbei wurde das Abdomen eröffnet, die linke Nierenarterie freipräpariert, jedoch die Blutversorgung nicht unterbrochen und die kontralaterale rechte Niere entnommen. Alle Tiere wurde für 60 min narkotisiert und 24 h nach Operation getötet. Die 45-minütige Ischämie mit nachfolgender Reperfusion der verbleibenden rechten Niere führte in den Kochsalz-behandelten Tieren zu einem massiven akuten Nierenfunktionsverlust. Dieser reflektiert sich in einem Serum-Kreatinin-Wert, der 24 h nach der Ischämie-Reperfusion 7-mal größer ist als der Wert vor der Ischämie-Reperfusion ( $p < 0,05$ ). Demgegenüber zeigten die mit dem Erythropoietin-Analog Aranesp behandelten Tiere nur einen vierfachen Anstieg der

Serum-Kreatinin-Werte einen Tag nach Induktion des Ischämie-Reperfusionsschadens. Bei den linksseitig nephrektomierten Tieren mit scheinoperierter rechter Niere kam es zu keinem Anstieg der Retentionswerte. Die Figur zeigt die Kreatinin-Konzentration im Serum von EPO-behandelten Tieren (IR + EPO), NaCl-behandelten Tieren (IR) und scheinoperierten Tieren (Schein-OP) vor Ischämie-Reperfusion (IR)-Verletzung und 24 Stunden danach. Aus der Figur geht hervor, dass die Serum-Kreatinin-Konzentration bei den Aranesp-behandelten Tieren 24 Stunden nach Ischämie-Reperfusion-Verletzung gegenüber der Kontrolle ohne (NaCl-Behandlung) fast halbiert ist.

Figur 7 zeigt die Kaplan-Mayer-Überlebenskurven von zwei Versuchsgruppen nach Induktion einer chronischen Niereninsuffizienz, die entweder mit Aranesp oder NaCl behandelt wurden. 8 Wochen alte Sprague Dawley-Ratten wurden in die Studie eingeschlossen. Die Ratten wurden mit Ketamin (120 mg/kg) und Rompun (10 mg/kg) narkotisiert. Ihnen wurde am Tag 0 die rechte Niere entnommen, welche sofort nach Entnahme für eine histologische Untersuchung in Formalin fixiert wurde. Bei der linken Niere wurden die Segmentarterien, welche den oberen und unteren Nierenpol versorgen, ligiert. Dadurch kommt es zu einem Niereninfarkt der entsprechenden Nierenareale und nur das mittlere Nierendrittel bleibt funktionell erhalten. Einmal wöchentlich erhielten die Ratten Aranesp (0,1 µg/kg Körpergewicht) oder NaCl s.c. gespritzt. Die mit dem Erythropoietin-Analog Aranesp behandelten Tiere weisen einen signifikanten Überlebensvorteil gegenüber den Kochsalzbehandelten Tieren auf ( $p = 0,027$ ; Log Rank-Test).

- 50 -

Die Figuren 8-15 zeigen lichtmikroskopische Nierenschnitte 6 Wochen nach Induktion einer chronischen Niereninsuffizienz von zwei Versuchsgruppen, die entweder mit Aranesp oder NaCl behandelt wurden und deren Kaplan-Mayer-Überlebenskurven in Figur 7 dargestellt sind.

Figur 8 zeigt die histologischen Veränderungen bei einer Sprague-Dawley-Ratte mit chronischer Niereninsuffizienz nach jeweils einmal wöchentlicher NaCl-Behandlung beginnend direkt nach Induktion der chronischen Niereninsuffizienz für einen Zeitraum von 6 Wochen. Die chronische Niereninsuffizienz resultiert aus der Entnahme der rechten Niere und der Ligierung der Segmentarterien, die den oberen und unteren Nierenpol versorgen, der linken Niere. Die Figur zeigt eine mittelgroße präglomeruläre Arterie mit charakteristischer zwiebelschalenartiger Gefäßwand-Proliferation bei schwerer hypertensiver Schädigung, einer sogenannten malignen Nephrosklerose mit Endarteriitis Fahr.

Figur 9 zeigt die histologischen Veränderungen bei einer Sprague-Dawley-Ratte mit chronischer Niereninsuffizienz nach jeweils einmal wöchentlicher NaCl-Behandlung beginnend direkt nach Induktion der chronischen Niereninsuffizienz für einen Zeitraum von 6 Wochen. Die chronische Niereninsuffizienz resultiert aus der Entnahme der rechten Niere und der Ligierung der Segmentarterien, die den oberen und unteren Nierenpol versorgen, der linken Niere. Die Figur zeigt floride fokal-segmentale Glomerulosklerose als sogenannte proliferative FSGS (Glomerulum rechts). Das andere Glomerulum (links) zeigt ischä-

5 mischen Kollaps des Schlingenkonvolutes. Am unteren des Bildes ist ein kleines Gefäß mit schwerem Endothelschaden zu sehen. Die beobachteten histologischen Veränderungen entsprechen einem hypertensiven Organschaden beziehungsweise Veränderungen im Rahmen einer Überlastungsneuropathie nach 5/6 Nephrektomie.

10 Figur 10 zeigt die histologischen Veränderungen bei einer Sprague-Dawley-Ratte mit chronischer Niereninsuffizienz nach jeweils einmal wöchentlicher NaCl-Behandlung beginnend direkt nach Induktion der chronischen Niereninsuffizienz für einen Zeitraum von 6 Wochen. Die chronische Niereninsuffizienz resultiert aus der Entnahme der rechten Niere und der 15 Ligierung der Segmentarterien, die den oberen und unteren Nierenpol versorgen, der linken Niere. Die Figur zeigt eine nahezu vollständige Sklerose beziehungsweise Destruktion eines kompensatorisch vergrößerten Glomerulums mit ausgeprägter Hyalinose 20 beziehungsweise fibrinoider Nekrose der dazugehörigen afferenten Arteriole.

Figur 11 zeigt die histologischen Veränderungen bei einer Sprague-Dawley-Ratte mit chronischer Niereninsuffizienz nach jeweils einmal wöchentlicher 25 NaCl-Behandlung beginnend direkt nach Induktion der chronischen Niereninsuffizienz für einen Zeitraum von 6 Wochen. Die chronische Niereninsuffizienz resultiert aus der Entnahme der rechten Niere und der Ligierung der Segmentarterien, die den oberen und 30 unteren Nierenpol versorgen, der linken Niere. Die Figur zeigt eine kleine präglomeruläre Arterie mit charakteristischer zwiebelschalenartiger Gefäß-

wandproliferation und Wandnekrose bei schwerer hypertensiver Schädigung, einer sogenannten malignen Nephrosklerose (vergleiche Bild rechts). Links ist eine regelrechte (noch) nicht geschädigte Arteriole zu sehen.

Figur 12 zeigt die histologischen Veränderungen bei einer Sprague-Dawley-Ratte mit chronischer Niereninsuffizienz nach jeweils einmal wöchentlicher Aranesp (EPO)-Behandlung (0,1 µg/kg Aranesp) beginnend direkt nach Induktion der chronischen Niereninsuffizienz für einen Zeitraum von 6 Wochen. Die chronische Niereninsuffizienz resultiert aus der Entnahme der rechten Niere und der Ligierung der Segmentarterien, die den oberen und unteren Nierenpol versorgen, der linken Niere. Die Figur zeigt ein regelrechtes Glomerulum mit zartem afferentem Gefäß. Im Tubulointerstitium ist kein pathologischer Befund festzustellen.

Figur 13 zeigt die histologischen Veränderungen bei einer Sprague-Dawley-Ratte mit chronischer Niereninsuffizienz nach jeweils einmal wöchentlicher Aranesp (EPO)-Behandlung (0,1 µg/kg Aranesp) beginnend direkt nach Induktion der chronischen Niereninsuffizienz für einen Zeitraum von 6 Wochen. Die chronische Niereninsuffizienz resultiert aus der Entnahme der rechten Niere und der Ligierung der Segmentarterien, die den oberen und unteren Nierenpol versorgen, der linken Niere. Die Figur zeigt ein regelrechtes Glomerulum mit zartem afferentem Gefäß (630-fache Vergrößerung). Im Tubulointerstitium ist kein pathologischer Befund festzustellen.

Figur 14 zeigt die histologischen Veränderungen bei einer Sprague-Dawley-Ratte mit chronischer Niereninsuffizienz nach jeweils einmal wöchentlicher Aranesp (EPO)-Behandlung (0,1 µg/kg Aranesp) beginnend  
5 direkt nach Induktion der chronischen Niereninsuffizienz für einen Zeitraum von 6 Wochen. Die chronische Niereninsuffizienz resultiert aus der Entnahme der rechten Niere und der Ligierung der Segmentarterien, die den oberen und unteren Nierenpol  
10 versorgen, der linken Niere. Die Figur zeigt ein regelrechtes Glomerulum mit zartem afferentem Gefäß. Im Tubulointerstitium ist kein pathologischer Befund festzustellen.

Figur 15 zeigt die histologischen Veränderungen bei  
15 einer Sprague-Dawley-Ratte mit chronischer Niereninsuffizienz nach jeweils einmal wöchentlicher Aranesp (EPO)-Behandlung (0,1 µg/kg Aranesp) beginnend direkt nach Induktion der chronischen Niereninsuffizienz für einen Zeitraum von 6 Wochen. Die chro-  
20 nische Niereninsuffizienz resultiert aus der Entnahme der rechten Niere und der Ligierung der Segmentarterien, die den oberen und unteren Nierenpol versorgen, der linken Niere. Die Figur zeigt ein  
regelrechtes Glomerulum mit zartem afferentem Gefäß  
25 (630-fache Vergrößerung). Im Tubulointerstitium ist kein pathologischer Befund festzustellen.

### Beispiel 1

#### **Wirkung von EPO bei Patienten mit renaler Anämie**

Die Wirkung von Erythropoietin bei Patienten mit  
30 renaler Anämie (Hb < 10,5 g/dl) als Folge von Nie-

renkrankheit im Endstadium (präterminale Niereninsuffizienz; Creatinin-Clearance < 35 ml/min) wurde untersucht. 11 Patienten wurden über einen Zeitraum von mindestens 8 Wochen mit Erythropoietin in wöchentlichen Dosen von durchschnittlich 5000 IU rhEPO (rekombinantes humanes Erythropoietin) intravenös beziehungsweise subkutan behandelt. Nach Erythropoietin-Behandlung wurden die endothelialen Vorläuferzellen im Blut der Patienten über einen Zeitraum von 20 Wochen untersucht, wobei nach 0, 2, 4, 6 und 8 Wochen endotheliale Vorläuferzellen bezüglich ihrer Anzahl als auch ihres Differenzierungsstatus mittels Durchflusszytometrie und eines Kulturtestes analysiert wurden.

Bei zirkulierenden peripheren Blutstammzellen (CPBSC) handelt es sich um eine kleine Zellpopulation, die sowohl das CD34-Antigen als auch das CD45-Antigen exprimieren. Auf der Basis der ISHAGE-Richtlinien wurde ein Test zur Bestimmung der Anzahl von CPBSC mittels Durchflusszytometrie entwickelt (Sutherland et al., J. Hematother., 5 (1996), 213-226). Unter Verwendung dieses Tests wurden sowohl das Expressionsmuster von CD34- und CD45-Zellen als auch die Morphologie der Stammzellen bestimmt. Auf diese Weise wurde sowohl die absolute Anzahl von CPBSC pro  $\mu$ l als auch der prozentuale Anteil von CPBSC an der Gesamtleukozytenzahl bestimmt.

Figur 1 zeigt die Ergebnisse einer FACS-Analyse zirkulierender CD34<sup>+</sup>-Stammzellen auf der Basis der ISHAGE-Richtlinien.

Figur 2 zeigt die Anzahl der mittels FACS-Analyse ermittelten CD34<sup>+</sup>-Stammzellen über einen Zeitraum von 8 Wochen.

#### Zellkultur-Test

5 Mononucleäre periphere Blutzellen (PBMCs) wurden mittels Dichtezentrifugation über Ficoll aus menschlichen Blutproben entsprechend dem in Asahara, Science, 275 (1997), 964-967, beschriebenen Verfahren isoliert. Die Zellen wurden auf Kultur-

10 platten mit Fibronectin ausplattiert und in EC-Basalmedium gehalten. EC-Basalmedium besteht aus EBM-2-Basalmedium (Fa. Clonetics) und EGM-2 Quots (hEGF; GA-1000 (Gentamicin, Amphotericin-B) FBS, VEGF, hFGF-B (w/heparin), R<sup>3</sup>-IGF-1, Ascorbic Acid,

15 Heparin). Nach 4-tägiger Kultivierung wurden nicht-adhärenzte Zellen durch Waschen der Platten entfernt. Die verbleibenden adhärenzten Zellen wurden mit Trypsin behandelt und erneut ausgesät. Anschließend wurden sie für weitere 3 Tage kultiviert. Zellen mit endothelialem Phänotyp wurden

20 durch Positivfärbung bezüglich zwei unterschiedlicher Endothelialmarker am Tag 7 nach Isolation identifiziert. Dabei handelt es sich um DiI-markiertes acetyliertes Lipoprotein geringer Dichte

25 (acLDL-DiI) und Ulex europaeus-Aglutinin-1 (UEA-1). Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Figur 3 dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass Erythropoietin endotheliale Vorläuferzellen mobilisieren und die Anzahl

30 zirkulierender endothelialer Vorläuferzellen erhöhen kann. Dabei werden funktionelle Defizite, die

unter bestimmten pathologischen Zuständen wie renaler Anämie auftreten, ausgeglichen. Diese Ergebnisse sind in Figur 4 dargestellt

5 Mittels Durchflusszytometrie wurde ermittelt, dass bei Patienten mit Nierenkrankheit im Endstadium die Anzahl zirkulierender CD34<sup>+</sup>-Stammzellen der Anzahl zirkulierender CD34<sup>+</sup>-Stammzellen im Blut von gesunden Probanden entspricht. Nach Beginn der Erythropoietin-Behandlung erhöht sich die Anzahl CD34<sup>+</sup>-  
10 Stammzellen im Blutkreislauf signifikant um mehr als 50 %. Unter Verwendung des Zellkulturtestes wurde bestimmt, dass nach Behandlung mit Erythropoietin die Anzahl der Zellen, die einen endothelialen Phänotyp entwickeln, dramatisch ansteigt. In  
15 einem funktionellen Zellkulturtest erhöhte sich die stark beeinträchtigte Fähigkeit von endothelialen Vorläuferzellen um das mehr als 3-fache.

### Beispiel 2

#### 20 **Verbesserte Wundheilung durch den systemischen Einsatz von rhEPO**

FVB/N-Mäuse wurden durch Inhalationsanästhesie mit Isofloran narkotisiert. Die Behaarung der beiden Hinterläufe wurde mit Hilfe einer Enthaarungslotion  
25 entfernt und mit 70%igen Alkohol desinfiziert. Mittels einer sterilen, 4 mm-Einweg-Biopsiegewebe-  
stanze wurde jeweils eine Hautwunde auf der rechten Flanke der Mäuse gesetzt. Die gegenüberliegende Seite diente als interne Kontrolle. Einmalig wurde  
30 eine postoperative antibiotische Abschirmung mit

Penicillin G (20000 Einheiten/kg) durchgeführt. Über den gesamten Untersuchungszeitraum erfolgten einmalig wöchentliche subkutane Injektionen von rekombinantem humanen Erythropoietin-Analog Aranesp (0,1 µg/kg Körpergewicht) über den gesamten Studienzeitraum. Die Behandlung begann sieben Tage vor Entnahme der Gewebestanze. Die Ergebnisse sind in Figur 5 dargestellt. Sie zeigen, dass die Verabreichung von EPO den Wundheilungsprozess erheblich beschleunigt.

### Beispiel 3

#### **Verminderung der Progression der chronischen Niereninsuffizienz durch Erythropoietin-Behandlung**

Acht Wochen alte Sprague-Dawley-Ratten wurden mit Ketamin (120 mg/kg) und Rompun (10 mg/kg) narkotisiert. Den Ratten wurden am Tage 0 die rechte Niere entnommen, welche sofort nach Entnahme für eine histologische Untersuchung in Formalin fixiert wurde. Bei der linken Niere wurden die Segmentarterien, welche den oberen und unteren Nierenpol versorgen, ligiert. Dadurch kommt es zu einem Niereninfarkt der entsprechenden Nierenareale, wobei nur das mittlere Nierendrittel funktionell erhalten bleibt. Einmal wöchentlich erhielten die Ratten das Erythropoietin-Analog Aranesp in einer Dosis von 0,1 µg/kg Körpergewicht oder zur Kontrolle NaCl subkutan (s.c.) gespritzt.

Figur 7 zeigt die Kaplan-Mayer-Überlebenskurve bei der Versuchsgruppen. Die Aranesp-behandelten Tiere

haben ein deutlich verbessertes Überleben verglichen mit den Kochsalz-behandelten Kontrolltieren.

In den Figuren 12-15 ist gezeigt, dass nach Behandlung mit Erythropoietin das Nierengewebe keine pathologischen Veränderungen zeigt, während nach Behandlung mit NaCl schwere pathologische Veränderungen sichtbar sind (vergleiche Figuren 8-11). Weitere histologische Untersuchungen ergaben, dass bei Aranesp-behandelten Tieren eine deutlich höhere Gefäßdichte (CD31) zu beobachten ist als bei Kochsalz-behandelten Tieren (Daten nicht gezeigt).

#### **Beispiel 4**

##### **Verminderung der Progression akuter Niereninsuffizienz**

Für diese Untersuchung wurden Sprague-Dawley-Ratten mit einem Körpergewicht von 250 bis 300 g eingesetzt. Eine der Versuchsgruppen erhielt einmalig am Tag vor Induktion des akuten Nierenversagens Aranesp in einer Dosis von 0,1 µg/kg Körpergewicht. Die Ratten wurden mit Ketamin (120 mg/kg Körpergewicht) und Rompun (10 mg/kg) narkotisiert. Als Vergleich diente eine Gruppe von Versuchstieren, denen jeweils zeitgleich Kochsalz s.c. injiziert wurde. Der Blutfluss in der Niere wurde für 45 Minuten unterbrochen, indem eine Arterienklemme auf die rechte Nierenarterie gesetzt wurde. In dieser Zeit wurde linksseitig eine Nephrektomie durchgeführt. Bei einer weiteren Kontrollgruppe wurde eine Scheinoperation durchgeführt. Hier wurde das Abdomen eröffnet, die linke Nierenarterie freipräpariert, jedoch

- 59 -

die Blutversorgung nicht unterbrochen, und die kontralaterale rechte Niere entnommen. Alle Tiere wurden für einen Zeitraum von 60 Minuten narkotisiert und 24 Stunden nach Operation getötet.

- 5 Die 45-minütige Ischämie mit nachfolgender Reperfusion der verbleibenden rechten Niere führte in den kochsalzbehandelten Tieren zu einem massiven akuten Nierenfunktionsverlust. Dieser fand seinen Ausdruck in einem um den Faktor 7 angestiegenen Serumkreati-
- 10 nin-Wert ( $p < 0,05$ ). Demgegenüber zeigten die mit dem Erythropoietin-Analog Aranesp behandelten Tiere nur einen vierfachen Anstieg des Serumkreatinin-
- 15 Wertes einen Tag nach Induktion des Ischämie-Reperfusions-Schadens. Bei den linksseitig nephrektomierten Tieren mit scheinoperierter rechter Niere kam es zu keinem Anstieg der Retentionswerte. Die Ergebnisse sind in Figur 6 dargestellt.

**Ansprüche**

1. Verwendung von Erythropoietin und/oder Derivaten davon zur Stimulation der physiologischen Mobilisierung endothelialer Vorläuferzellen, der Proliferation endothelialer Vorläuferzellen, der Differenzierung endothelialer Vorläuferzellen zu Endothelzellen und/oder der Migration endothelialer Vorläuferzellen in Richtung eines angiogenen oder vaskulogenen Stimulus.  
5
- 10 2. Verwendung nach Anspruch 1, wobei die Fähigkeit sich differenzierender endothelialer Vorläuferzellen zur Adhäsion gesteigert wird.
3. Verwendung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Stimulation endothelialer Vorläuferzellen zur Bildung von Endothelgewebe führt.  
15
4. Verwendung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Stimulation der endothelialen Vorläuferzellen zur Ausbildung neuer Blutgefäße führt.
5. Verwendung von Erythropoietin und/oder Derivaten davon zur Stimulation der Bildung von Endothelgewebe.  
20
6. Verwendung von Erythropoietin und/oder Derivaten davon zur Stimulation der Vaskulogenese.
7. Verwendung von Erythropoietin zur Therapie von Krankheitszuständen oder Krankheiten des menschlichen oder tierischen Körpers, die im Zusammenhang mit einer Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen stehen.  
25

8. Verwendung nach Anspruch 7, wobei die Dysfunktion der endothelialen Vorläuferzellen in ihrer gestörten Fähigkeit zur Proliferation, ihrer gestörten Fähigkeit zur Differenzierung zu Endothelzellen, ihrer gestörten Fähigkeit zur Adhäsion und/oder ihrer gestörten Fähigkeit zur Migration in Richtung eines vaskulogenen oder angiogenen Stimulus besteht.
9. Verwendung nach Anspruch 7 oder 8, wobei die Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen die Bildung von Endothelgewebe und/oder Blutgefäßen beeinträchtigt oder verhindert.
10. Verwendung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei die Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen pathogen bedingt ist.
11. Verwendung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, wobei es sich bei den Krankheitszuständen oder Krankheiten, die mit einer Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen im Zusammenhang stehen, um Hypercholesterinämie, Diabetes mellitus, Endothelvermittelte chronische Entzündungserkrankungen, Endotheliose einschließlich Retikuloendotheliose, Atherosklerose, koronare Herzkrankheit, Myokard-Ischämie, Angina pectoris, altersbedingte Herz-Kreislauf-Erkrankung, ischämische Erkrankungen der Extremitäten, Präeklampsie, Raynaud-Krankheit, schwangerschaftsinduzierte Hypertonie, chronische oder akute Niereninsuffizienz, insbesondere terminale Niereninsuffizienz, Herzinsuffizienz, Wundheilung und Folgeerkrankungen davon handelt.

12. Verwendung von Erythropoietin zur Therapie von Hypercholesterinämie, Diabetes mellitus, Endothel-vermittelten chronischen Entzündungserkrankungen, Endotheliose einschließlich Retikuloendotheliose, 5 Atherosklerose, koronarer Herzkrankheit, Myokard-Ischämie, Angina pectoris, altersbedingter Herz-Kreislauf-Erkrankung, ischämischen Erkrankungen der Extremitäten, Präeklampsie, Raynaud-Krankheit, schwangerschaftsinduzierter Hypertonie, chronischer 10 oder akuter Niereninsuffizienz, insbesondere terminaler Niereninsuffizienz, Herzinsuffizienz, Wundheilung und Folgeerkrankungen davon.

13. Verwendung nach einem der Ansprüche 7 bis 12, wobei Erythropoietin pro Patient in einer Dosis von 15 200 bis 2000 Einheiten/Woche verabreicht wird.

14. Verwendung nach Anspruch 13, wobei Erythropoietin pro Patient in einer Dosis von 500 bis 2000 Einheiten/Woche verabreicht wird.

15. Verwendung von Erythropoietin zur Herstellung 20 einer pharmazeutischen Zusammensetzung zur Therapie von Krankheitszuständen oder Krankheiten, die mit einer Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen im Zusammenhang stehen.

16. Verwendung nach Anspruch 15, wobei es sich bei 25 den Krankheitszuständen oder Krankheiten, die mit einer Dysfunktion von endothelialen Vorläuferzellen im Zusammenhang stehen, um Hypercholesterinämie, Diabetes mellitus, Endothel-vermittelte chronische Entzündungserkrankungen, Endotheliose einschließlich 30 lich Retikuloendotheliose, Atherosklerose, koronare

Herzkrankheit, Myokard-Ischämie, Angina pectoris, altersbedingte Herz-Kreislauf-Erkrankung, ischämische Erkrankungen der Extremitäten, Raynaud-Krankheit, Präeklampsie, schwangerschaftsinduzierte  
5 Hypertonie, chronische oder akute Niereninsuffizienz, insbesondere terminale Niereninsuffizienz, Herzinsuffizienz, Wundheilung und Folgeerkrankungen davon handelt.

17. Verwendung von Erythropoietin zur Herstellung  
10 einer pharmazeutischen Zusammensetzung zur Therapie von Hypercholesterinämie, Diabetes mellitus, Endothel-vermittelten chronischen Entzündungserkrankungen, Endotheliose einschließlich Retikuloendotheliose, Atherosklerose, koronarer Herzkrankheit, Myokard-Ischämie, Angina pectoris, altersbedingter  
15 Herz-Kreislauf-Erkrankung, ischämischen Erkrankungen der Extremitäten, Raynaud-Krankheit, Präeklampsie, schwangerschaftsinduzierter Hypertonie, chronischer oder akuter Niereninsuffizienz, insbesondere terminaler Niereninsuffizienz, Herzinsuffizienz, Wundheilung und Folgeerkrankungen davon.  
20

18. Verwendung nach einem der Ansprüche 15 bis 17, wobei die pharmazeutische Zusammensetzung zur parenteralen, insbesondere intravenösen, intramuskulären, intrakutanen oder subkutanen Verabreichung  
25 geeignet ist.

19. Verwendung nach Anspruch 18, wobei die pharmazeutische Zusammensetzung als Injektion oder Infusion vorliegt.

- 64 -

20. Verwendung nach einem der Ansprüche 15 bis 17, wobei die pharmazeutische Zusammensetzung zur pulmonalen Verabreichung geeignet ist.
21. Verwendung nach Anspruch 20, wobei die pharmazeutische Zusammensetzung als wässrige Lösung, nicht-wässrige Lösung oder Pulver vorliegt.
22. Verwendung nach Anspruch 20 oder 21, wobei die pharmazeutische Zusammensetzung in Form eines Aerosol-Präparates vorliegt.
23. Verwendung nach einem der Ansprüche 15 bis 17, wobei die pharmazeutische Zusammensetzung zur oralen Verabreichung geeignet ist.
24. Verwendung nach Anspruch 23, wobei die pharmazeutische Zusammensetzung als Lösung, Suspension, Emulsion oder Tablette vorliegt.
25. Verwendung nach einem der Ansprüche 15 bis 24, wobei die pharmazeutische Zusammensetzung mindestens einen weiteren Wirkstoff zur Stimulation endothelialer Vorläuferzellen enthält.
26. Verwendung nach Anspruch 25, wobei es sich bei dem weiteren Wirkstoff um VEGF, PlGF, GM-CSF, einen HMG-CoA-Reduktase-Inhibitor und/oder einen NO-Donator handelt.
27. Verwendung nach Anspruch 26, wobei der HMG-CoA-Reduktase-Inhibitor ein Statin wie Simvastatin, Mevastatin oder Atorvastatin ist.

- 65 -

28. Verwendung von Erythropoietin zur Herstellung eines transplantierbaren Endothelzell-Präparates.

29. Verwendung nach Anspruch 28, wobei Endothelzellen in vitro durch Kultivierung endothelialer Vorläuferzellen in Gegenwart von Erythropoietin hergestellt werden.

30. Verwendung nach Anspruch 28 oder 29, wobei die Kultivierung der endothelialen Vorläuferzellen in Gegenwart mindestens eines weiteren Wirkstoffes ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus VEGF, PlGF, GM-CSF, einem HMG-CoA-Reduktase-Inhibitor, insbesondere Simvastatin, Mevastatin oder Atorvastatin, und einem NO-Donator, insbesondere L-Arginin, erfolgt.

31. Verwendung von Erythropoietin zur Vorbehandlung und/oder Weiterbehandlung von Gewebe- oder Organtransplantaten.

32. Verwendung nach Anspruch 31, wobei die Vorbehandlung der Gewebe- oder Organtransplantate unter Verwendung isolierter endothelialer Vorläuferzellen erfolgt.

33. Verwendung von Erythropoietin zur Herstellung implantierbarer oder transplantierbarer zellhaltiger in vitro-Organ- oder Gewebesysteme, wobei die in vitro-Organ- oder Gewebesysteme vor Transplantation oder Implantation zur Induktion von Vaskulogenese und/oder Endothelzell-Bildung mit Erythropoietin behandelt werden.

- 66 -

34. Verwendung nach Anspruch 33, wobei die in vitro-Organ- oder Gewebesysteme endotheliale Vorläuferzellen enthalten.

5 35. Verwendung von Erythropoietin zur Herstellung von Gefäßprothesen oder Herzklappen, wobei die Gefäßprothesen oder Herzklappen mit Erythropoietin beschichtet werden.

10 36. Verwendung nach Anspruch 35, wobei die Beschichtung der Gefäßprothesen oder Herzklappen endotheliale Vorläuferzellen enthält.

37. Verwendung nach einem der Ansprüche 1 bis 36, wobei Erythropoietin menschliches oder tierisches Erythropoietin ist.

15 38. Verwendung nach Anspruch 37, wobei Erythropoietin ein Derivat, ein Analog, eine Modifikation oder ein Mutein von Erythropoietin ist.

20 39. Verwendung nach Anspruch 37 oder 38, wobei Erythropoietin aus menschlichem Urin, dem Urin oder Plasma von an aplastischer Anämie leidenden Patienten, Gewebekulturen von menschlichen Nierenkrebszellen, die Fähigkeit zur Bildung von menschlichem Erythropoietin aufweisenden menschlichen Lymphoblastenzellen oder einer durch Zellfusion einer menschlichen Zelllinie erhaltenen Hybridomkultur  
25 isoliert ist.

40. Verwendung nach Anspruch 37 oder 38, wobei Erythropoietin ein mittels DNA-Rekombinationstechniken hergestelltes Erythropoietin ist.

41. Pharmazeutische Zusammensetzung zur Stimulation endothelialer Vorläuferzellen, zur Stimulation der Bildung von Endothelgewebe, zur Stimulation von Vaskulogenese und/oder zur Behandlung von Krankheiten oder Krankheitszuständen, die im Zusammenhang mit einer Dysfunktion endothelialer Vorläuferzellen stehen, umfassend Erythropoietin und/oder ein Derivat, ein Analog, eine Modifikation oder ein Mutein davon als Wirkstoff sowie mindestens einen weiteren Wirkstoff ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus VEGF, PIGF, GM-CSF, einem HMG-CoA-Reduktase-Inhibitor und einem NO-Donator.

42. Pharmazeutische Zusammensetzung zur Prophylaxe und/oder Therapie von Hypercholesterinämie, Diabetes mellitus, Endothel-vermittelten chronischen Entzündungserkrankungen, Endotheliose einschließlich Retikuloendotheliose, Atherosklerose, koronarer Herzkrankheit, Myokard-Ischämie, Angina pectoris, altersbedingter Herz-Kreislauf-Erkrankung, ischämischen Erkrankungen der Extremitäten, Präeklampsie, Raynaud-Krankheit, schwangerschaftsinduzierter Hypertonie, chronischer oder akuter Niereninsuffizienz, insbesondere terminaler Niereninsuffizienz, Herzinsuffizienz, Wundheilung und Folgeerkrankungen davon, umfassend Erythropoietin und/oder ein Derivat, ein Analog, eine Modifikation oder ein Mutein davon als Wirkstoff.

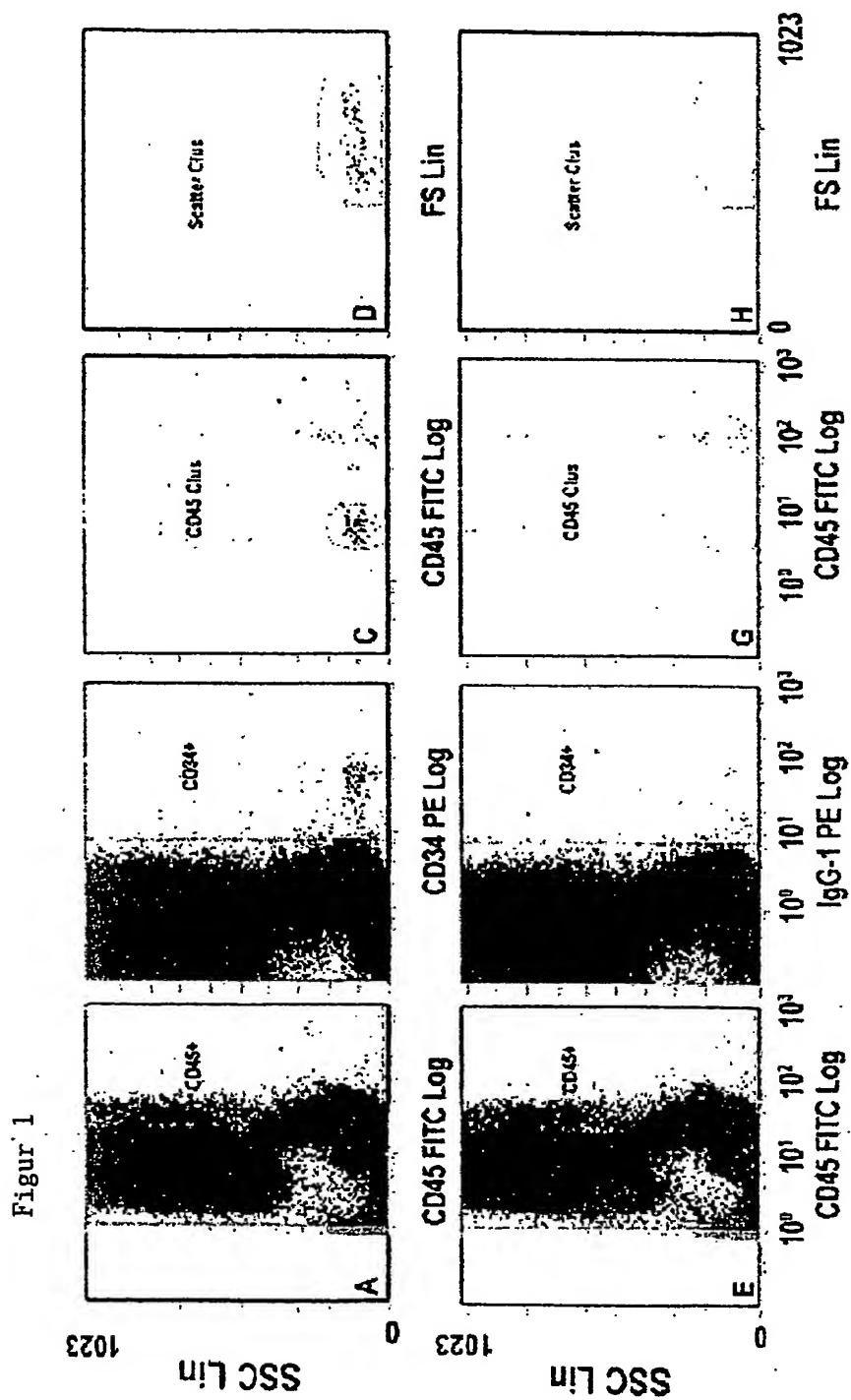
43. Pharmazeutische Zusammensetzung nach Anspruch 42, zusätzlich umfassend einen weiteren Wirkstoff ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus VEGF, PIGF, GM-CSF, einem HMG-CoA-Reduktase-Inhibitor und einem NO-Donator.

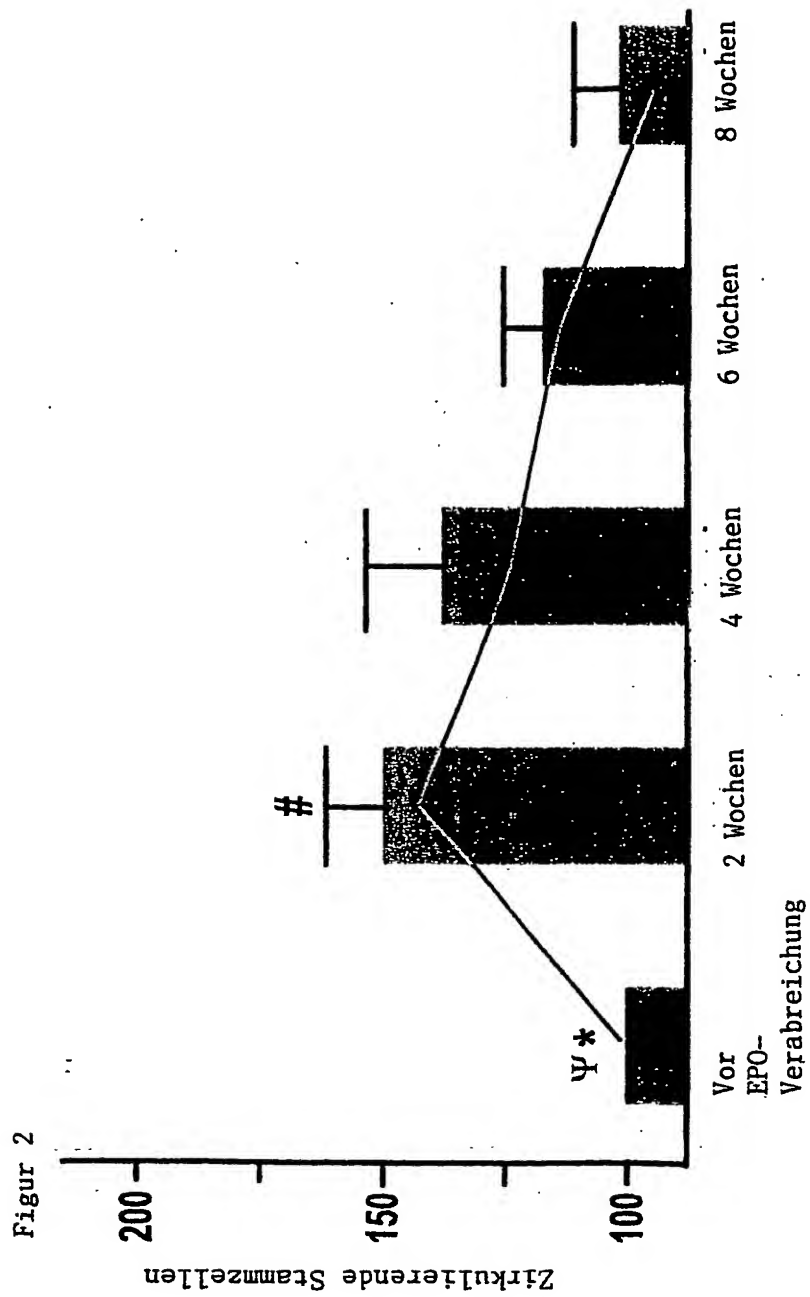
- 68 -

44. Pharmazeutische Zusammensetzung nach Anspruch 41 oder 43, wobei der HMG-CoA-Reduktase-Inhibitor ein Statin wie Simvastatin, Mevastatin oder Atorvastatin ist.

- 5 45. Pharmazeutische Zusammensetzung nach Anspruch 41 oder 43, wobei der NO-Donator L-Arginin ist.

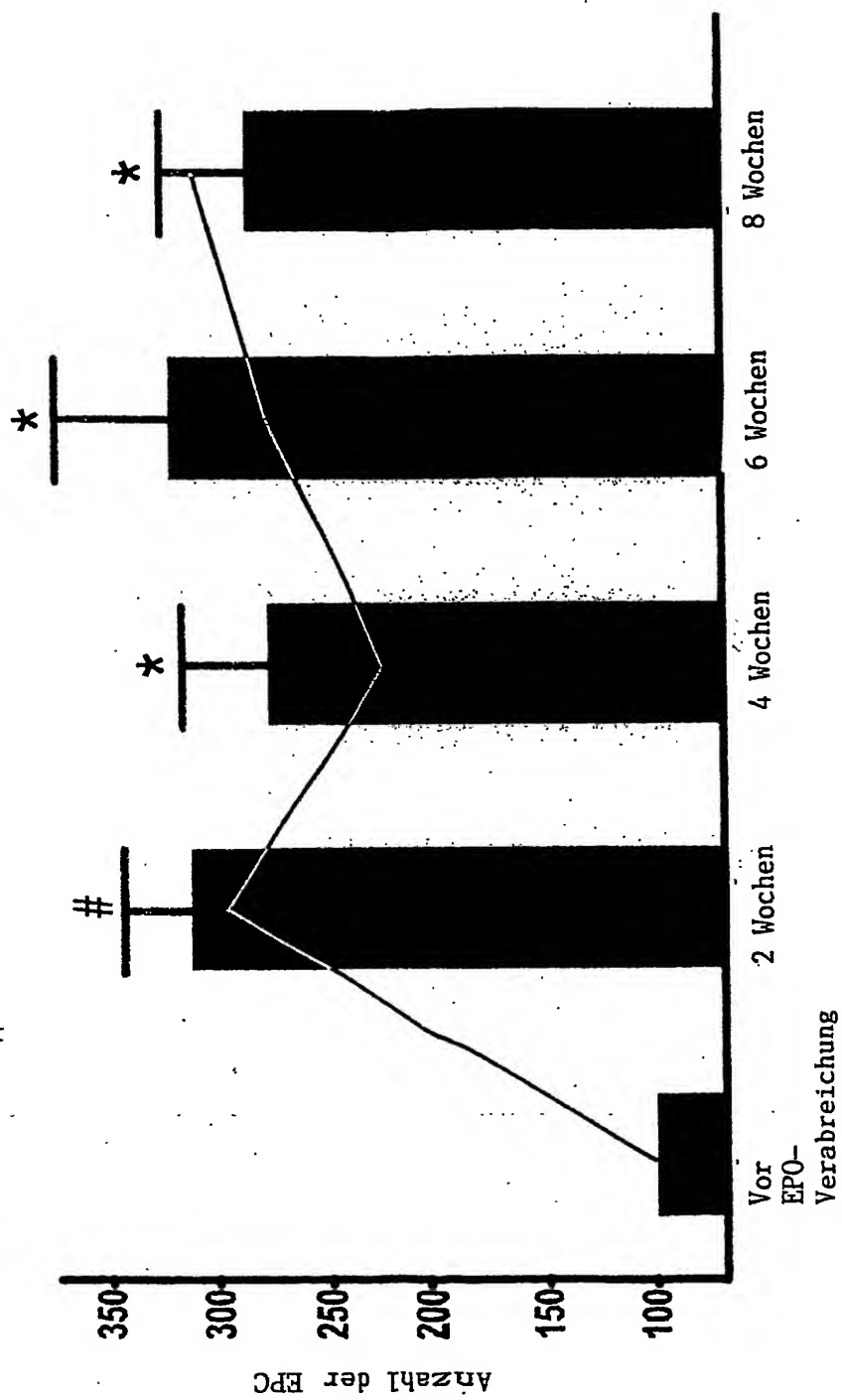
1/15

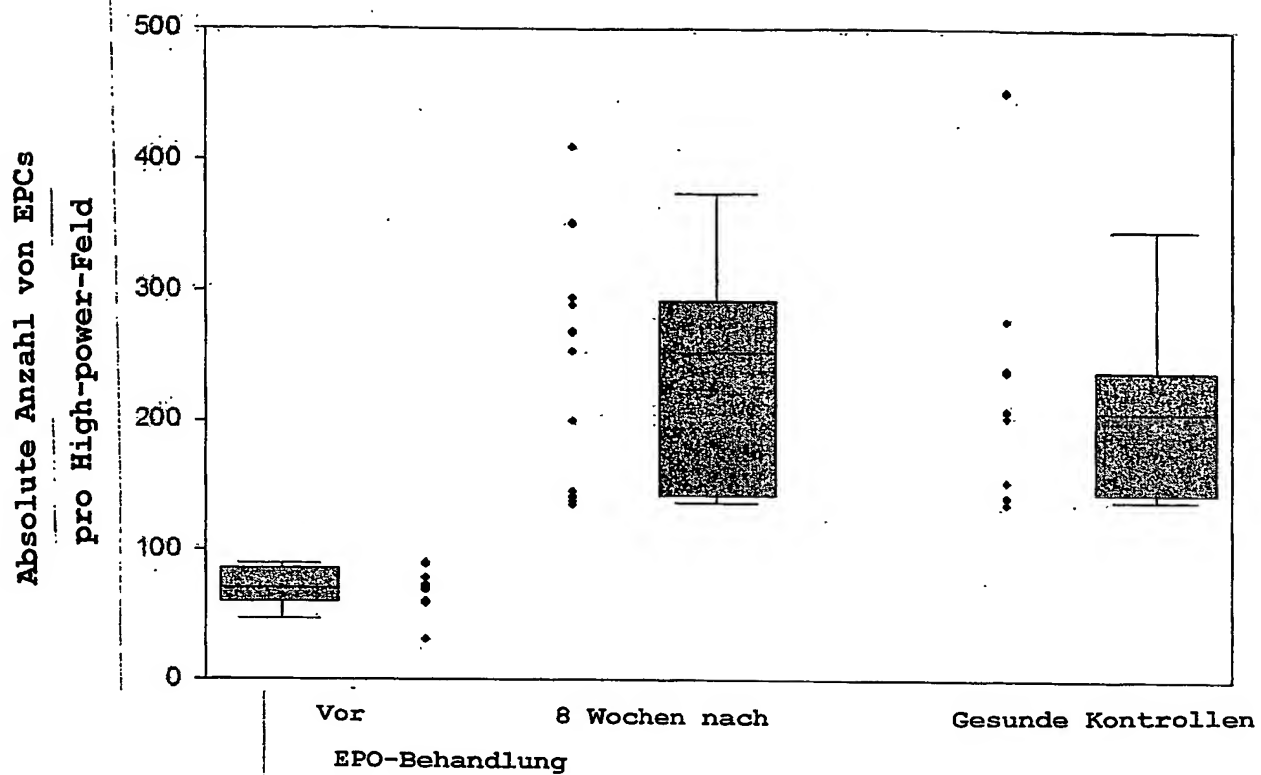




3/15

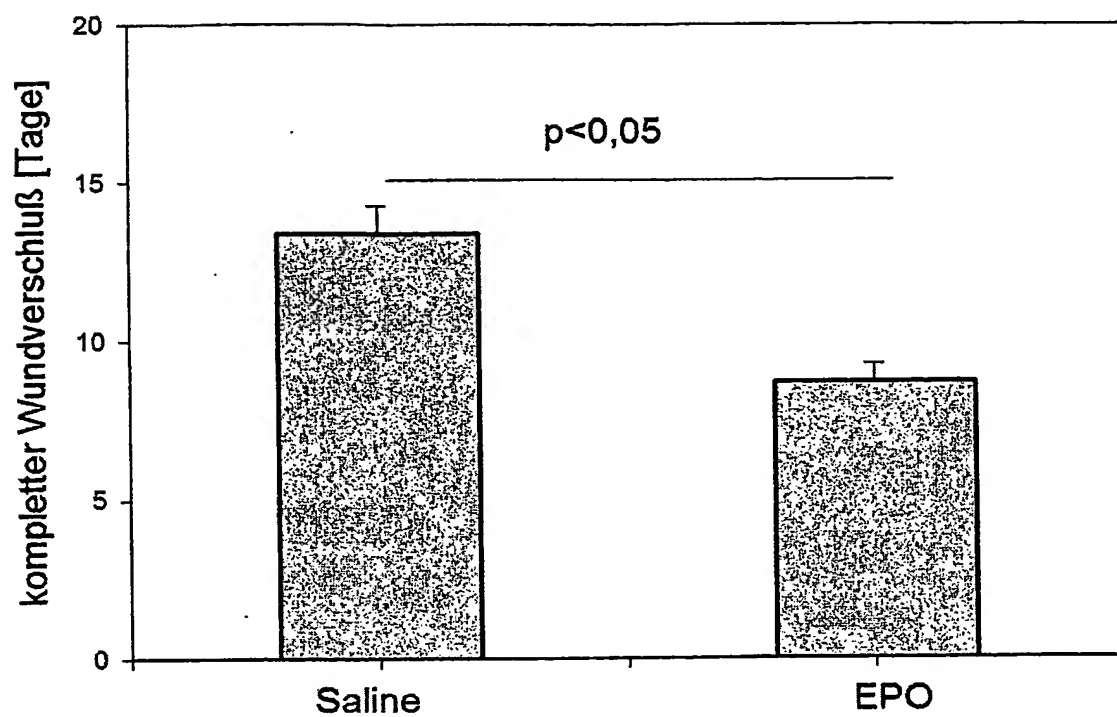
Figur 3

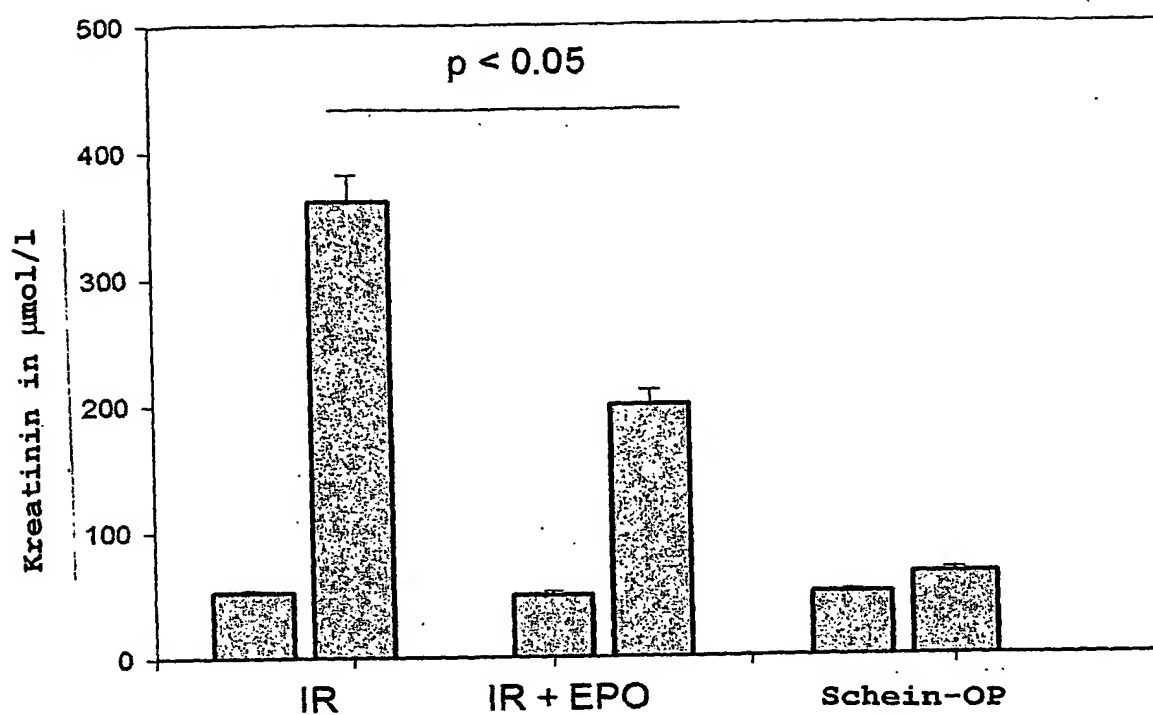




Figur 4

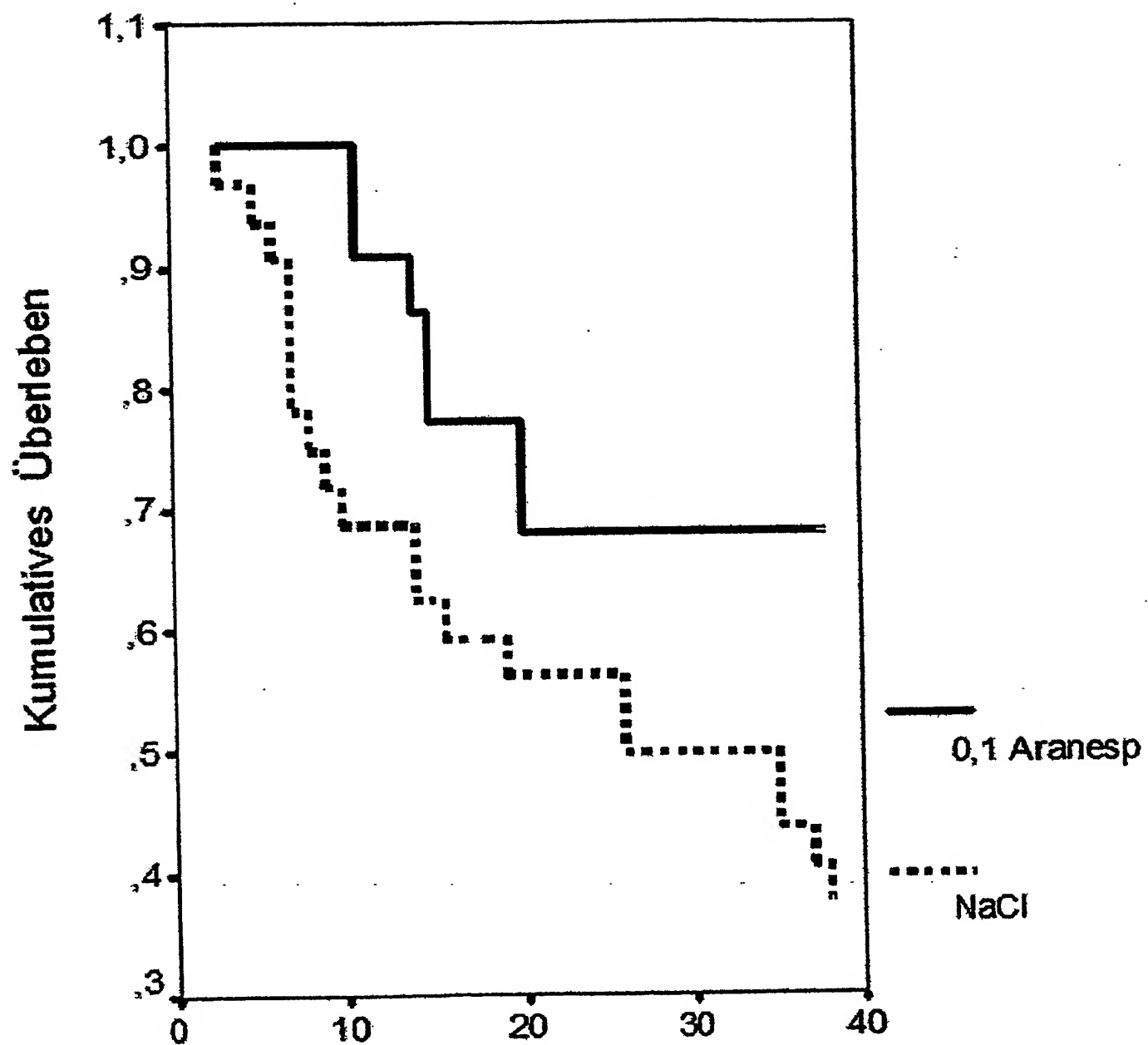
5/15

**Figur 5**

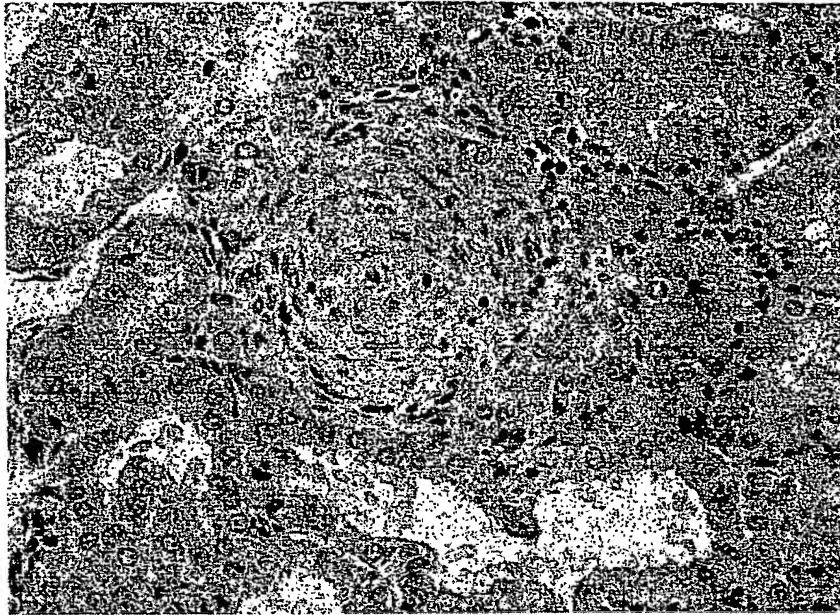


Figur 6

7/15

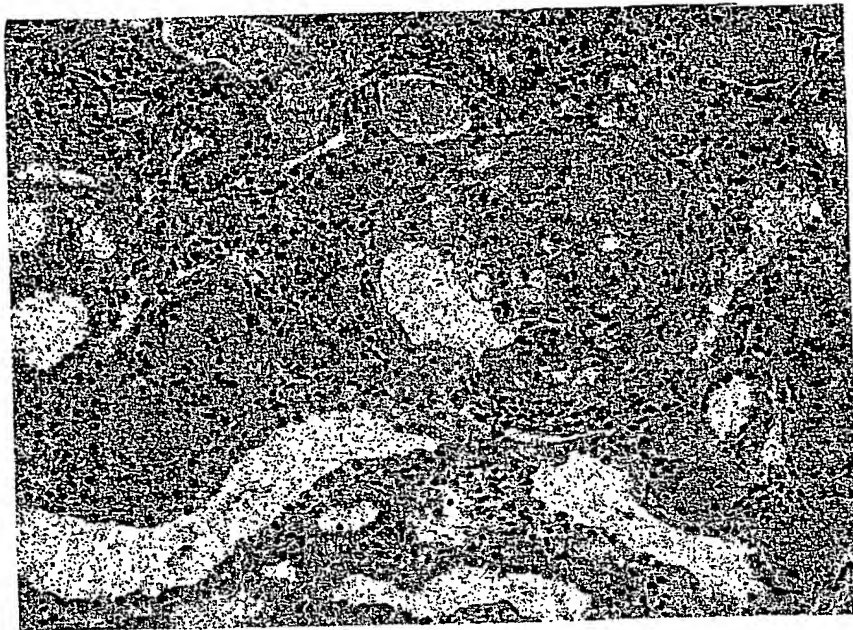


Figur 7



**Figur 8**

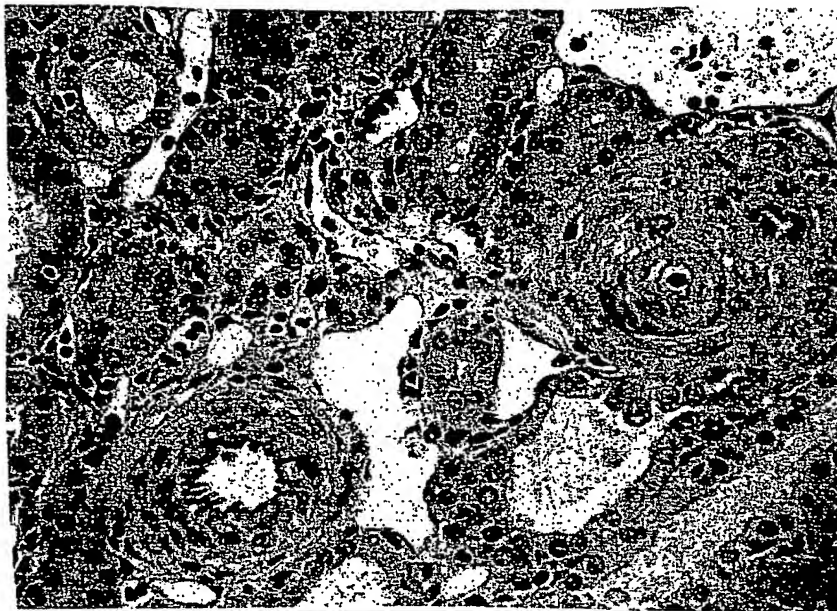
9/15



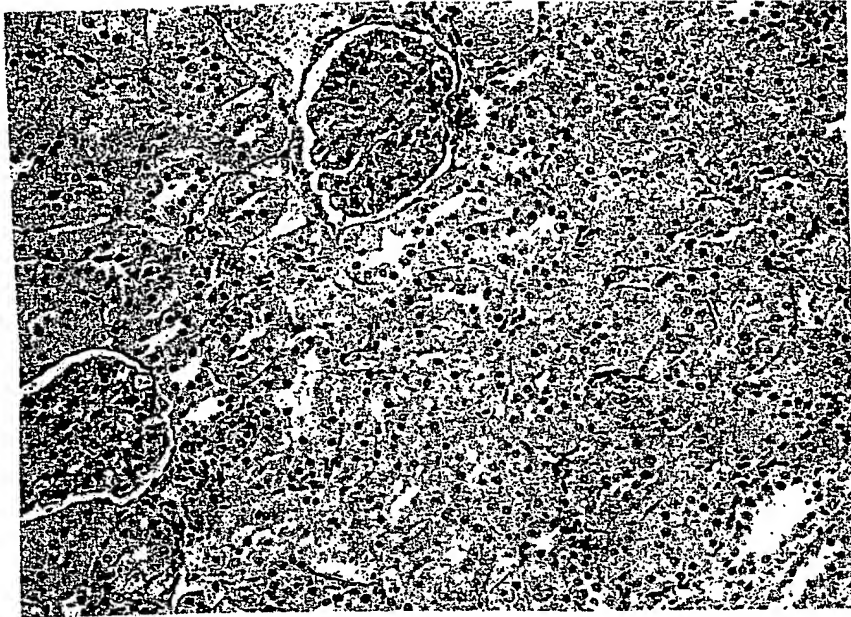
**Figur 9**



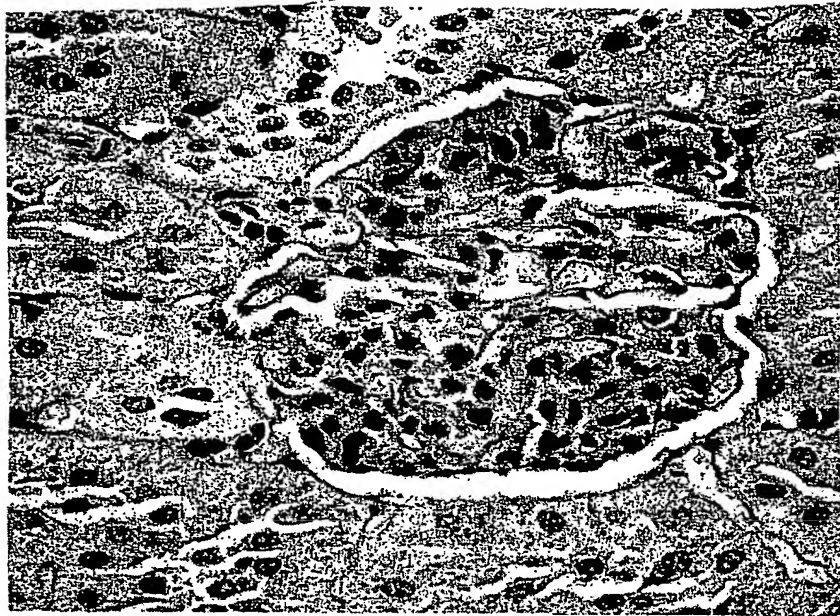
**Figur 10**



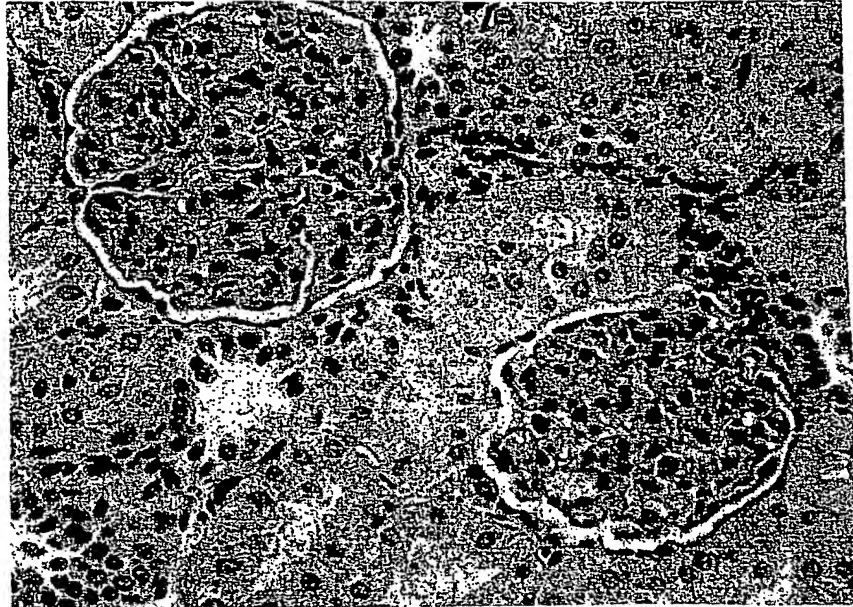
Figur 11



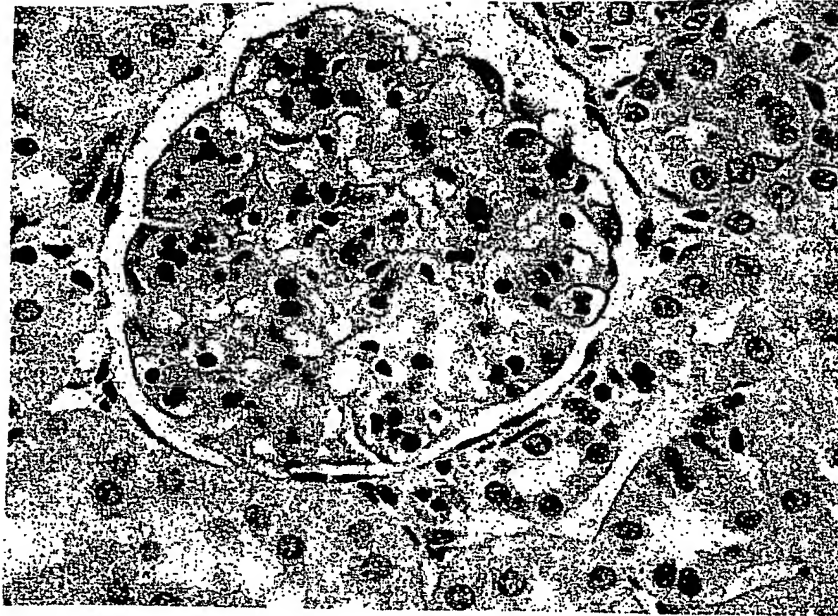
**Figur 12**



**Figur 13**



**Figur 14**



Figur 15

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**